

Heidi Tulonen

Taloteknisten järjestelmien energiatehokkuuden parantaminen korjaus- ja muutostöissä 1960- ja 1970-lukujen kerrostalot

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (ylempi AMK) -tutkinto

Rakentaminen

Opinnäytetyö

Päivämäärä 6.5.2015

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Heidi Tulonen Taloteknisten järjestelmien energiatehokkuuden parantaminen korjaus- ja muutostöissä 56 sivua + 4 liitettä 6.5.2015
Tutkinto	insinööri (YAMK)
Koulutusohjelma	rakentaminen
Suuntautumisvaihtoehto	talotekniikka
Ohjaajat	talotekniikkayksikön päällikkö Tomi Marjamäki yliopettaja Aki Valkeapää
<p>Työn tilaajana toimi Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto. Työn tarkoituksena oli selvittää talotekniikan korjaustoimenpiteiden energiatehokkuutta ja kustannustehokkuutta takaisinmaksuajan ja nykyarvon muodossa. Tarkasteltavat rakennukset rajattiin 1960- ja 1970-lukujen kerrostaloihin näiden suuren lukumäärän ja korjausrakentamisen tarpeen perusteella.</p> <p>Tarkasteltava rakennus kuvastaa hyvin kyseisen ajan jakson tyyppiratkaisuja, myös kuluksiltaan. Työssä tarkasteltiin vesijohto-, lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien energiansäästöratkaisuja. Järjestelmien energiansäästölaskemien tarkastelujaksot perustuivat järjestelmien teknisiin käyttöikiin. Vesimittareiden asentamisen tarkastelujaksot käytettiin 30 vuotta, huomioiden vesimittareiden peruskorjauskustannukset 15 vuoden välein. Energiansäästöratkaisuna vesijohtopuolella tarkasteltiin vesimittareiden asentamista ja vesijohtojen eristämistä linjasaneerauksen yhteydessä. Lämmityspuolen tarkasteltavat energiansäästötoimenpiteet olivat lämmitysverkoston perussäätö ja patteriventtiilien uusiminen sekä lämmitysjärjestelmän uusiminen tai vaihtaminen. Ilmanvaihtojärjestelmien energiansäästötoimenpiteitä olivat olemassa olevien huippuimureiden uusiminen ja lämmöntalteenotolla varustetun koneellisen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän rakentaminen. Työssä tarkasteltiin poistoilmalämpöpumpun lisäämistä olemassa olevaan poistoilmajärjestelmään.</p> <p>Laskemien perusteella tarkasteltavan rakennuksen osalta päästiin seuraavanlaisiin tuloksiin. Useimmat energiansäästötoimenpiteet ovat takaisinmaksuaikojen perusteella kannattavia. Kuitenkin suurin osa toimenpiteistä on sellaisia, jotka ovat kannattavia toteuttaen vain muun saneerauksen yhteydessä. Vesimittareiden asentaminen oli kannattavaa kaikissa tarkastelluissa ratkaisuissa. Tarkasteltavista ilmanvaihdon energiansäästöratkaisuista vain huippuimureiden vaihtamista voidaan perustella energiansäästöllä. Lämmitysjärjestelmän vaihtaminen tai uusiminen ovat harvoja toimenpiteitä joita voidaan perustella pelkästään energiansäästöllä, kun alkuperäisenä lämmönlähteenä on huonolla hyötysuhteella toimiva öljykattila.</p>	
Avainsanat	energiatehokkuus, linjasaneeraus, ilmanvaihto, korjausrakentaminen

Author Title	Heidi Tulonen Energy efficiency of building services systems in renovations
Number of Pages Date	56 pages + 4 appendices 6 May 2015
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Building Services Engineering
Instructors	Tomi Marjamäki, Head of Building Services unit Aki Valkeapää, Principal Lecturer
<p>The purpose of this Master's thesis was to study the energy efficiency and cost-effectiveness of building services system renovations in regard to the repayment period and present value. The buildings examined were apartment buildings from the 1960s and 1970s because of their availability and need for renovation.</p> <p>The final year project studied suitable energy-saving solutions for the building services systems in the sample building, which was typical for the time period. The cost-effectiveness calculation periods were based on the technological life span of each system. For water systems, the solutions studied were the installation of water meters and the isolation of water pipes during a renovation project. The energy-saving measures for heating were balancing the system and installation of radiator valves, replacing the heating system with a new one or renovating the old system. For ventilation systems, the energy-saving solutions were the renewal of the roof extractor and the installation of a ventilation system with heat recovery. Furthermore, adding an exhaust air heat pump to the existing exhaust air system was considered.</p> <p>Most of the energy-saving measures proved to have a profitable payback period when implemented with a major renovation. Installation of water meters was profitable in all cases. For ventilation systems, only the renewal of a roof extractor could be justified by energy savings. Renovating or replacing the heating system was one of the few measures that could be justified by energy savings alone, as the original heat source was an oil-fired boiler with low efficiency.</p>	
Keywords	energy efficiency, hvac, renovation, ventilation, heating

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Direktiivit, asetukset ja lait	2
2.1	Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi	2
2.2	Lait	3
2.3	Rakennusmääräykset ja ympäristöministeriön asetukset	4
2.4	Kirjallisuusselvitys	5
3	Rakennus- ja talotekniikka 1960- ja 1970-lukujen kerrostaloissa	5
3.1	Rakennustekniikka	5
3.2	Talotekniikka	6
4	Rakennus ja kulutustiedot	6
5	Energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet	8
5.1	Vesi- ja viemärijärjestelmät	10
5.2	Lämmitysjärjestelmät	13
5.3	Ilmanvaihtojärjestelmät	16
6	Investointilaskenta ja lähtötiedot	19
7	Vesi- ja viemärijärjestelmien energiansäästötoimenpiteiden kustannustehokkuus	24
7.1	Vesimittarien asentaminen ja vesikalusteiden uusiminen	27
7.1.1	Käyttö- ja energiakustannukset	27
7.1.2	Investointikustannukset ja takaisinmaksuaika	28
7.2	Vesijohtojen eristäminen	30
7.2.1	Käyttö- ja energiakustannukset	30
7.2.2	Investointikustannukset ja takaisinmaksuaika	31
8	Lämmitysjärjestelmien energiansäästötoimenpiteiden kustannustehokkuus	32
8.1	Lämmitysverkoston perussäätö ja patteriventtiilien uusiminen	34
8.2	Lämmitysjärjestelmän uusiminen tai vaihtaminen	35
9	Ilmanvaihtojärjestelmien energiansäästötoimenpiteiden kustannustehokkuus	37
9.1	Huippuimureiden uusiminen	39
9.2	Huoneistokohtaisen tulo-poistoilmanvaihdon asentaminen	40
9.2.1	Käyttö- ja energiakustannukset	41

9.2.2	Investointikustannukset ja takaisinmaksuaika	43
9.3	Poistoilmalämpöpumpun asentaminen	44
10	Laskentatyökalu	48
11	Yhteenveto	51
	Lähteet	54
	Liitteet	
	Liite 1. Vesijohtojärjestelmien energiansäästötoimenpiteiden laskelmat	
	Liite 2. Lämmitysjärjestelmien energiansäästötoimenpiteiden laskelmat	
	Liite 3. Ilmanvaihtojärjestelmien energiansäästötoimenpiteiden laskelmat	
	Liite 4. Laskentatyökalu	

1 Johdanto

Euroopan unionin tärkeimpiä tavoitteita on vähentää energiankulutusta. Komissio julkaisi vuonna 2006 suunnitelman ”Energiatehokkuuden toimintasuunnitelma: Mahdollisuuksien toteuttaminen” (KOM(2006)0545). Toimintasuunnitelman päätavoitteita on saada aikaan 20 prosentin säästö primäärienergian kulutuksessa vuoteen 2020 mennessä. Rakennusten energiatehokkuudesta on annettu uudistettu direktiivi (EPBD-direktiivi) vuonna 2010 ja kansallisten säädösten tuli olla valmiina kesällä 2012. EPBD-direktiivin mukaan energiatehokkuutta on edistettävä uudisrakentamisen lisäksi myös korjausrakentamisessa ja tähän on asetettava kansalliset energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset. Tähän Suomi vastasi antamalla ympäristöministeriön asetuksen rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Tarkemmin direktiivistä ja asetuksesta kerrotaan luvussa 2. (1; 2.)

Ympäristöministeriön asetus koskien rakennuksen energiatehokkuuden parantamista korjaus- ja muutostöissä astui voimaan 1.6.2013 viranomaisten käytössä olevilla rakennuksille ja laajeni koskemaan kaikkia rakennuksia 1.9.2013. Asetuksessa otetaan kantaa sekä rakennuksen ominaisuuksiin (rakenteet, ikkunat, eristeet) että teknisiin järjestelmiin ja niille on asetettu energiatehokkuusvaatimuksia. Asetuksessa esitetään, että taloteknisiä järjestelmiä uusittaessa on pyrittävä energiatehokkuuden osalta uudisrakentamisen tasoon. Huomion arvoista on, että asetusta sovelletaan vain rakennus- tai toimenpideluvanvaraisissa korjaus- ja muutostöissä tai silloin kun rakennuksen käyttötarkoitusta muutetaan. Näin ollen osa teknisistä uudistuksista jää asetuksen ulkopuolelle. Lisäksi käytännöt luvanvaraisuudesta vaihtelevat kunnittain, jolloin eri kuntien asukkaat ovat eriarvoisissa asemassa.

Laissa kirjataan, että parannusten tulee olla teknisesti, toiminnallisesti ja taloudellisesti toteutettavissa. Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus selvittää taloudellisia lähtökohtia ja taloudellista kannattavuutta taloteknisten järjestelmien korjaus- ja muutostöissä. Korjausrakentamisen taloudellinen toteutettavuus on ollut esillä eniten ja tähän on annettu ohje ympäristöministeriön perustelumuistiossa, jossa lukee, että tarkastelujaksona tulee käyttää asuinrakennuksessa 30 vuotta ja muissa rakennuksissa 20 vuotta, jos tarkasteltavan rakennusosan tai järjestelmän tai sen osan normaali elinkaari ei ole tätä lyhempi.

Opinnäytetyö tehdään Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirastolle. Suurin osa rakennuskannasta, joita tullaan linjasaneeraamaan tai muuten korjaamaan, ovat 1960- ja 1970-luvun kerrostaloja, joten työ rajataan koskemaan vain näitä rakennuksia. Rakennusvalvontaan toimitetaan luvan yhteydessä korjaus- ja muutostyön energiaselvitys, jossa todetaan energiatehokkuuden paraneminen. Mikäli energiatehokkuutta ei paranneta, tulee osoittaa, ettei energiatehokkuuden parantaminen ole teknisesti, taloudellisesti tai toiminnallisesti toteutettavissa. Taloudellinen toteutettavuus osoitetaan laskelmilla, joita opinnäytetyössä esitetään esimerkin omaisesti. Jotta rakennusvalvontaviranomainen voi arvioida laskelmien tasoa, tulee hänellä olla kattavat lähtötiedot arvioinnin perusteeksi. Opinnäytetyöllä on tarkoitus antaa viranomaiselle tarvittavat yleiset lähtötiedot juuri tämän arvioinnin perusteeksi.

Opinnäytetyön yhtenä osa-alueena on helppokäyttöisen ja yksinkertaisen laskentatyökalun tekeminen viranomaisten ja muiden, jotka haluavat etukäteen miettiä valintojen vaikutusta kokonaiskustannusten kannalta, käyttöön. Laskurilla pystytään vertailemaan suuntaa antavasti eri energiatehokkuusratkaisuiden kannattavuutta.

2 Direktiivit, asetukset ja lait

2.1 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi

Direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta annettiin joulukuussa 2002. Direktiivissä oli kolme keskeistä osaa, jotka olivat rakennusten energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset, energiatodistuksen käyttöönotto ja lämmityskattiloiden ja ilmanvaihtojärjestelmien määräaikaistarkastukset. Direktiiviä sovellettiin kansallisesti ottaen huomioon maiden paikalliset olosuhteet. (3.)

Direktiivi laadittiin uudelleen vuonna 2010, koska siihen oli tehtävä uusia asiasisältöä koskevia muutoksia. Uudessa direktiivissä energiatodistusten painoarvo kasvaa ja näihin liittyviä menetelmiä on direktiivissä täsmennetty. Lisäksi direktiivi kiinnittää enemmän huomiota myös korjausrakentamisen energiatehokkuuteen. Uusina asioina direktiivissä on lähes nollaenergiarakennusten määrän kasvattaminen sekä primäärienergiatekijät. Kuten kumottua direktiiviä, myös uutta direktiiviä sovelletaan paikalliset olosuhteet huomioon ottaen. (4.)

Uusi Rakennusten energiatehokkuusdirektiiviin liittyvä puitestandardi, prEN 15603 Energy performance of buildings. Overarching standard EPBD, on jo jäsenmaissa lausuntokierroksella, ja standardi on tarkoitus saada valmiiksi vuoden 2015 loppuun mennessä. Lausuntokierroksella olevassa standardissa on esitetty uusia määritelmiä liittyen energiatuotannon (on site, nearby, distant) sijaintiin sekä käyttämisajankohtaan (immediate use, temporary exported, exported) ja näille erilaisia primäärienergiakertoimia riippuen siitä, onko energia tuotettu uusiutuvasta vai uusiutumattomasta energialähteestä. Standardissa esitetty laskentamenetelmä poikkeaa hieman Suomessa nykyisin käytössä olevasta menetelmästä. Oletettavasti standardiin tulee joitain muutoksia lausuntokierrokseen perustuen ja standardia voidaan soveltaa paikallisesti. (5.)

2.2 Lait

Laki rakennuksen energiatodistuksesta puhuttaa ihmisiä tällä hetkellä. Kyseisessä laissa vaaditaan tietyin poikkeuksin ja porrastuksella, että myytäessä tai vuokrattaessa rakennusta, sen osaa tai huoneistoa tulee olla nähtävillä voimassa oleva energiatodistus. Energiatodistuksessa rakennuksen energiatehokkuutta ilmaistaan kokonaisenergiankulutusta kuvaavalla tunnuksella. Energiantodistus perustuu laskennalliseen kokonaisenergiankulutukseen. Lisäksi energiatodistuksessa tulee ilmoittaa laskennallinen ostoenergiankulutus ja toteutunut kulutus, mikäli se on saatavilla. Energiatodistuksen voi laatia vain pätevätytynyt henkilö, joka on rekisteröity energiatodistuksen laatijoista pidettävään rekisteriin. (6.)

Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta on annettu joulukuussa 2012, jonka pykälä 117 g § käsittelee energiatehokkuutta. Laissa kirjataan, että energiatehokkuuden vähimmäisvaatimusten täytyminen tulee osoittaa laskelmilla ja hankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan energiaa ja luonnonvaroja säästäen. Myös säätö- ja mittausjärjestelmien on oltava sellaisia, että energiankulutus ja tehontarve jäävät vähäiseksi ja energiankulutusta voidaan seurata. Lisäksi laissa lukee, että energiatehokkuutta on parannettava rakennus- tai toimenpideluvanvaraisen korjaus- ja muutostyön tai rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä, jos se on teknisesti, toiminnallisesti ja taloudellisesti toteutettavissa. Ympäristöministeriö voi asetuksellaan antaa tarkempia säännöksiä, jotka voivat koskea uudisrakentamista tai rakennuksen korjaus- ja muutostyötä. (7.)

2.3 Rakennusmääräykset ja ympäristöministeriön asetukset

Suomen rakentamismääräyskokoelma on uusiutunut energiatehokkuuteen liittyen tiiviillä tahdilla viime vuosien aikana. Rakentamismääräyskokoelman osa D3 Rakennusten energiatehokkuus astui voimaan heinäkuussa 2012 ja osa D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta julkaistiin toukokuussa 2013. Rakentamismääräyskokoelman osa D3 sellaisenaan koskee uudisrakentamista, mutta osaa D5 sovelletaan myös olemassa oleviin rakennuksiin tietyin poikkeuksin. Poikkeuksia on esitetty ympäristöministeriön korjausrakentamisen laskentaliitteessä koskien muun muassa ilma-ilmalämpöpumpun tuottamaa energiaa eri vuonna valmistuneille rakennuksille. Vesi- ja viemärilaitteiden määräyksiä ja ohjeita käsitellään osassa D1. Kiinteistöjen vesi- ja viemärilaitteistot, joka on vuodelta 2007 ja lisäosa vuodelta 2010. Ilmanvaihtojärjestelmiä käsitellään osassa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, joka uusiutui samaan aikaan osan D3 kanssa vuonna 2012. (8; 9; 10; 11; 12.)

Rakennuksen energiatodistuksesta on annettu ympäristöministeriön asetus helmikuussa 2013, ja asetus koskee koko rakennuskantaa niiltä osin, kun energiatodistus on vaadittu. Olemassa olevan rakennuksen energiatodistusta laadittaessa on esitettävä myös energiasäästösuosituksia, joiden tulee sisältää arvion energiansäästömäärästä ja vaikutuksesta laskennalliseen kokonaisenergiankulutukseen. Arvioitavia asioita ovat kaikki ulkorakenteet, lämmitysjärjestelmät, käyttövesijärjestelmät, ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät, valaistus, jäähdytysjärjestelmät, sähköiset erillisjärjestelmät sekä muut rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat järjestelmät. (13.)

Rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä on annettu ympäristöministeriön asetus helmikuussa 2013. Asetus astui voimaan 1.6.2013 koskien virkamiesten käytössä olevia rakennuksia ja laajeni koskemaan muita rakennuksia syyskuussa 2013. Asetusta sovelletaan vain rakennus- tai toimenpideluvanvaraisissa korjaus- ja muutostöissä tai joiden käyttötarkoitusta muutetaan. Energiatehokkuutta voidaan parantaa noudattaen rakennusosakohtaisia, rakennuksen energiankulutukselle tai rakennuksen E-luvulle asetettuja vaatimuksia. Asetuksessa esitetään, että taloteknisiä järjestelmiä uusiessa on pyrittävä energiatehokkuuden osalta uudisrakentamisen tasoon, jolloin näiltä osin tulee noudattaa rakentamismääräyskokoelmia. Rakennusosien tai teknisiin järjestelmien energiatehokkuutta parantavien toimenpiteiden kokonaan tai osittain tekemättä jättämistä voidaan kompensoida toteuttamalla muut toimenpiteet ylittäen vaatimuksen mukainen taso. (14.)

2.4 Kirjallisuusselvitys

Koska asetus on suhteellisen uusi, siitä on olemassa aika vähän painettua kirjallisuutta. Kirjallisuus käsittelee lähinnä koko rakennuksen energiatehokkuutta tai jonkin rakennusosan energiatehokkuutta ja talotekniikan osuus on jätetty hyvin vähäiseen rooliin tai on mainittu vain ohimennen. Tarkempia laskelmia talotekniikkajärjestelmien energiatehokkuudesta korjausten yhteydessä löytyy hyvin vähän. Jonkin verran on olemassa yleisellä tasolla olevia laskelmia talotekniikkajärjestelmien uusimisesta.

Syyskuuhun 2013 mennessä yhtään laskelmaa talotekniikan osuudesta ei ole vielä Helsingin rakennusvalvontaan tullut, joten tulevien laskelmien tasoa ei voida vielä arvioida. Laskentapalvelut – energialaskentaohjelma tarjoaa mahdollisuuden energiatehokkuuden laskemiseen korjaus- ja muutostöissä ohjelmassaan, mutta ohjelma tarkastelee vain seinä- ja kattorakenteiden uusimista. Aiheesta on järjestetty myös useita tilaisuuksia ja seminaareja, mutta niissäkin usein on mainittu talotekniikka vain ohimennen.

3 Rakennus- ja talotekniikka 1960- ja 1970-lukujen kerrostaloissa

3.1 Rakennustekniikka

1960-luvulla rakennustekniikkaa ja menetelmiä kehitettiin massatuotantoon sopiviksi. Sarjatuotannolle ominaisia piirteitä rakennustekniikassa olivat tehokkuus, esivalmistetut rakennusosat, moduulimitoitus ja standardointi. Pohjaratkaisut tehtiin sarjatuotantoon sopiviksi. 1970-luvulla betonisten rakennusosien esivalmistus elementtitehtaissa yleistyi nopeasti ja kehitettiin sandwich-elementti. Sandwich-elementti mahdollisti nopeamman rakennusprosessin ja maksimoi myytävän pinta-alan ohuutensa ansiosta. Kerrostaloasuntoja rakennettiin vuodessa keskimäärin 23 000 kpl 1960-luvulla ja 33 700 kpl 1970-luvulla. Rakentamisen huippu nähtiin vuonna 1974, jolloin valmistui kaikkiaan 73 033 asuntoa. (15.)

3.2 Talotekniikka

Käyttövesiputket tehtiin pääasiassa kuparista tai kuumasinkitystä teräksestä ja viemärit valuraudasta. Pystylinjat sijoitettiin paikan päällä rakennettuihin tai betonielementeistä koottuihin hormiryhmiin tai ne liitettiin kylpyhuone-elementtiin. Hormiryhmiä oli yhdestä kolmeen kappaletta asuntoa kohden. Vaakaviemäreiden sijainti vaihtelee paikalla valetusta lattiasta alapuolella olevan asunnon kattoon, riippuen välipohjan rakenteesta. (15.)

Lämmitysjärjestelmä on yleensä vesikiertoinen 2-putkijärjestelmä ja lämmönjako tapahtuu ikkunoiden alle sijoitetuilla pattereilla. Lämmönlähteenä toimii kaukolämpö tai oma kattila. Vanhemmissa taloissa nousulinjoja on sijoitettu myös seinärakenteiden sisään, mutta 1970-luvulla alettiin nousulinjoja sijoittaa sisäseinien pinnoille. Kylpyhuoneen lämmityspatteri, joka sijoitettiin seinään tai kylpyammeen etulevyksi, ja kupariputkilla toteutettu lattialämmitys liitettiin lämminvesiverkostoon. (15.)

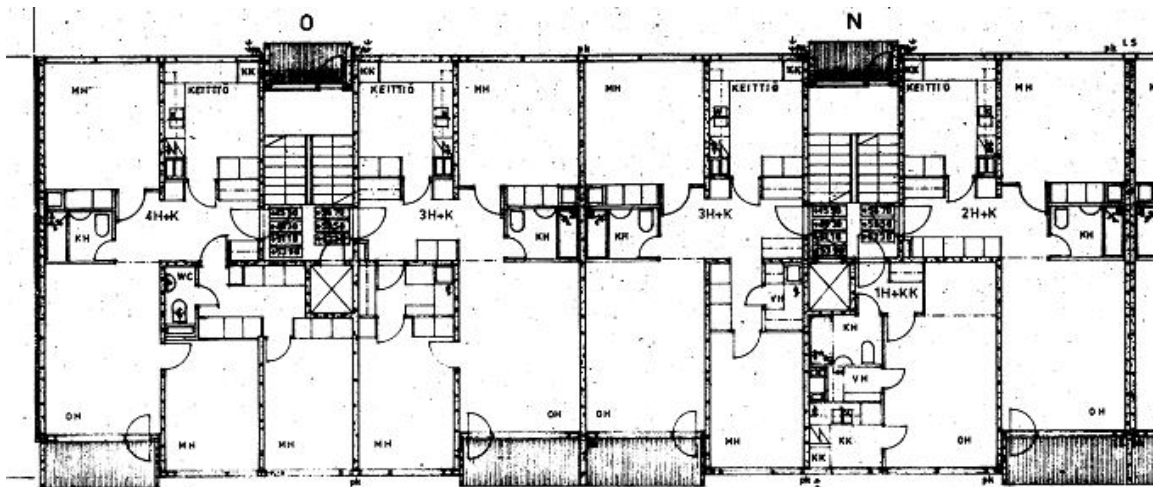
Ilmanvaihto toteutettiin yhteiskanavajärjestelmässä koneellisella poistolla, mutta 3–4-kerroksissa taloissa saatettiin käyttää yhä painovoimaista ilmanvaihtoa. Myös joitain koneelliseen poistoon perustuvia erilliskanavajärjestelmiä rakennettiin. Ilmanvaihtokone toimii useimmiten kello-ohjauksella kahdella kierrosluvulla, jolloin ilmanvaihtoa tehostetaan tiettyinä kellon aikoina. Automatiikalla estetään suuremman kierrosluvun käyttäminen ulkoilman lämpötilan ollessa alle -10 °C:ttä. Korvausilma tulee yleensä vuotoilmana ikkunoiden tiivisteiden läpi. Poistoilmakanavina käytettiin joko betonisia hormielementtejä tai 1970-luvulla yleistyneitä kierresaumattuja peltikanavia. (15.)

4 Rakennus ja kulutustiedot

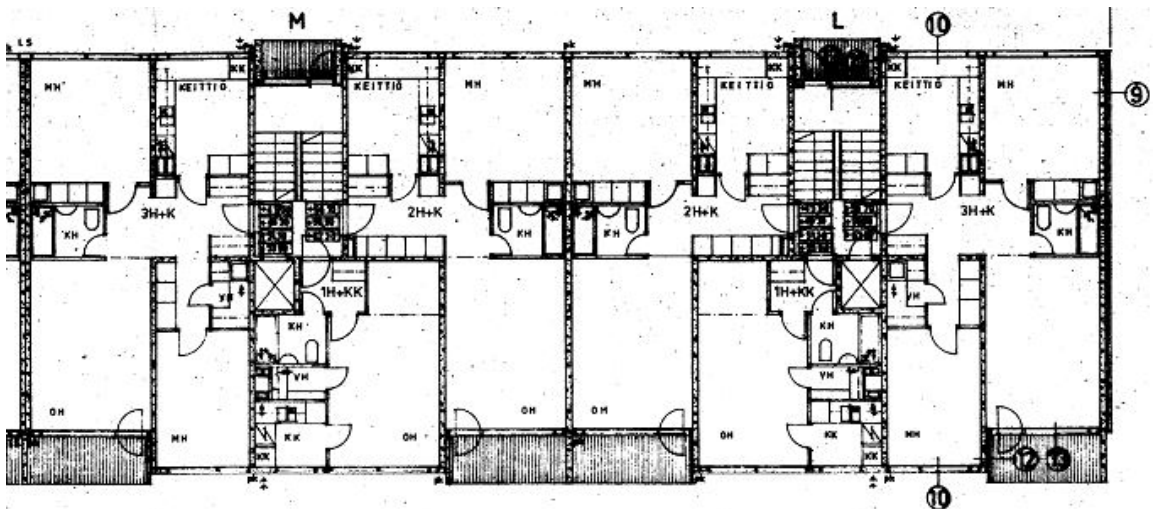
Työssä tarkasteltava rakennus valittiin kuvastamaan hyvin 1960- ja 1970-lukujen sarjatuotannon ratkaisuja. Työssä tarkastellaan vain rakennuksen asuintiloja ja yleiset tilat jätetään selvitykset ulkopuolelle.

Valittu rakennus on 1960-luvun loppupuolella valmistunut 5-kerroksinen ja 4-portainen teräsbetonitalo. Huoneistot ovat joka asuinkerroksessa samanlaiset ja vaihtelevat välillä 1h+kk – 4h+k, yhteensä rakennuksessa on 55 huoneistoa. Huoneistoissa on hyvin selkeät pohjaratkaisut ja samankokoiset huoneistot ovat keskenään samanlaisia. Vali-

tun kerrostalon asuinkerrosten pohjapiirustukset on esitetty kuvissa 1 ja 2, niin että molemmissa kuvissa on esitetty kahden porrashuoneen asunnot. Edellä mainitut ominaisuudet ovat hyvin tyypillisiä tämän aikakauden rakennuksille. Rakennuksen yhden asuinkerroksen kerrosala on 796 m² ja asuinpinta-ala on 643 m². Rakennuksen asuinkerrosten kerrosala on 3980 m² ja tilavuus 11940 m³. Rakennuksen bruttoalaan lisätään kellarikerroksen kerrosala, jolloin bruttoalaksi saadaan 4776 m². Asukkaiden lukumäärää voidaan arvioida Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 esitetyn henkilötiheyden perusteella, joka on asuinkerrostaloissa 1/28 hlö/m² (8.). Näin saadaan rakennuksen asukasmääräksi 115 henkilöä.



Kuvio 1. Valitun rakennuksen kahden läntisimmän porrashuoneen asunnot.



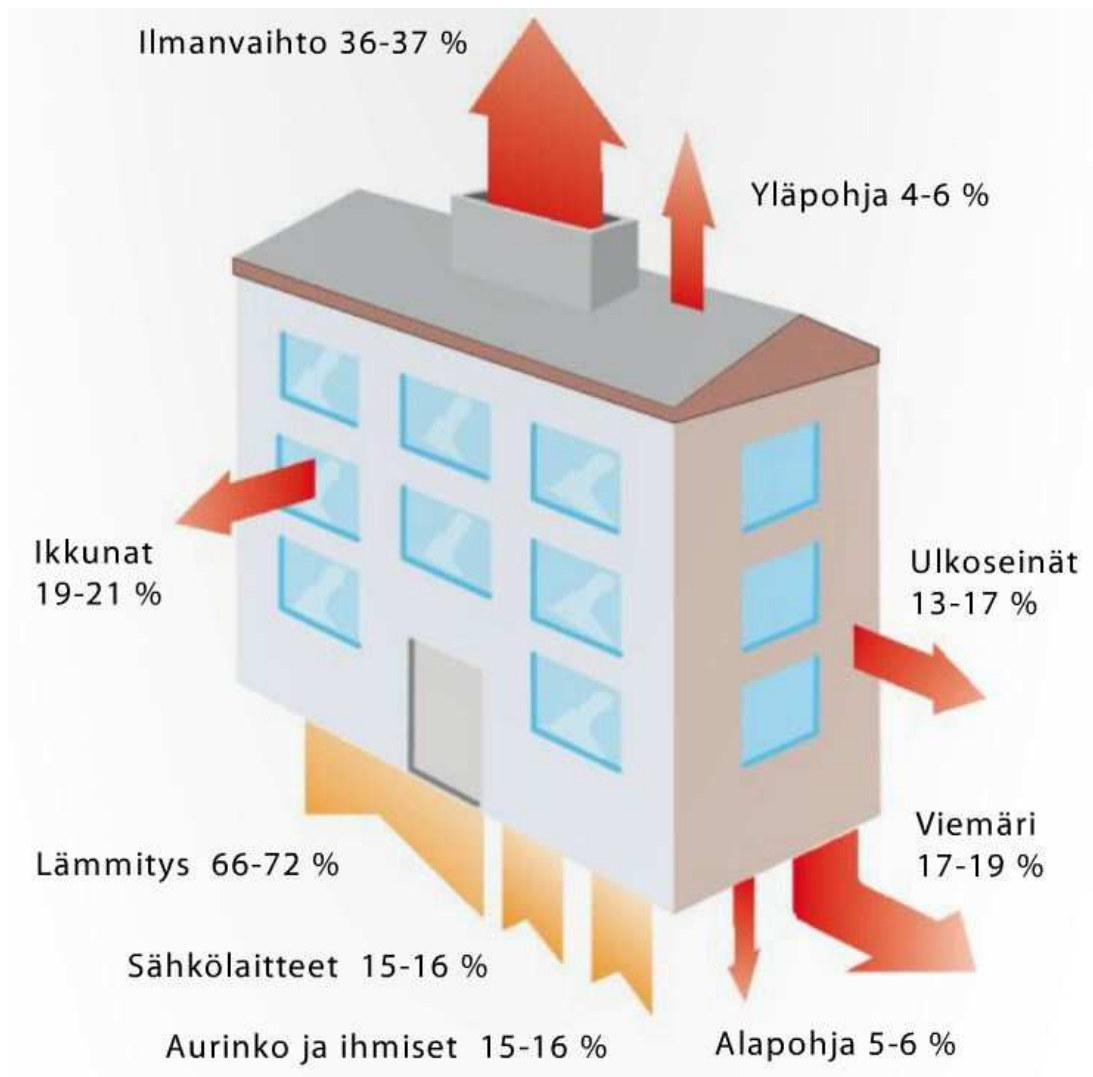
Kuvio 2. Valitun rakennuksen kahden itäisimmän porrashuoneen asunnot.

Myös tarkasteltavan rakennuksen talotekniset ratkaisut kuvastavat hyvin yleisiä tämän aikakauden ratkaisuja. Rakennuksen lämmitysmuoto on kaukolämpö ja lämmitysjärjestelmä on vesikiertoinen patterijärjestelmä. Ilmanvaihtojärjestelmä on toteutettu koneellisella yhteiskanavapoistolla. Poistoilmaventtiilit on sijoitettu kylpyhuoneisiin, wc-tiloihin, vaatehuoneisiin ja keittiöihin, raitisilma otetaan asuinhuoneisiin suoraan ulkoa korvausilmaventtiileillä. Vesijohto- ja viemärinousulinjoja on yhteensä 20. Isommissa asunnoissa jokaisella wc-, kylpyhuone- ja keittiölinjalla on oma pystynousulinjansa. Yksioissä on yksi johtovesi- ja viemärinousulinja. Vesijohdot ovat kuparia ja jakojohdot ovat näkyvisä, keittiöitä lukuun ottamatta. Vaakaviemärit on sijoitettu lattiaan ja materiaalina on käytetty valurautaa.

Rakennuksen kulutukset perustuvat 1960-luvun asuinkerrostalojen keskiarvoihin. Lähötietoja keskiarvoista on estetty tarkemmin luvussa 5. Rakennuksen lämmittämiseen kuluu keskimäärin 210 kWh/ as-m². Kun asuinkerrosala per kerros on 643 m², saadaan lämmitysenergian kulutukseksi noin 675 MWh/a. Helsingin veden ilmoittama keskimääräinen kerrostaloasukkaan vedenkulutus on 170 dm³/vrk (16). Asukkaiden lukumäärän olleessa 115 henkilöä saadaan vedenkulutukseksi noin 19,5 m³/vrk eli 7136 m³/a.

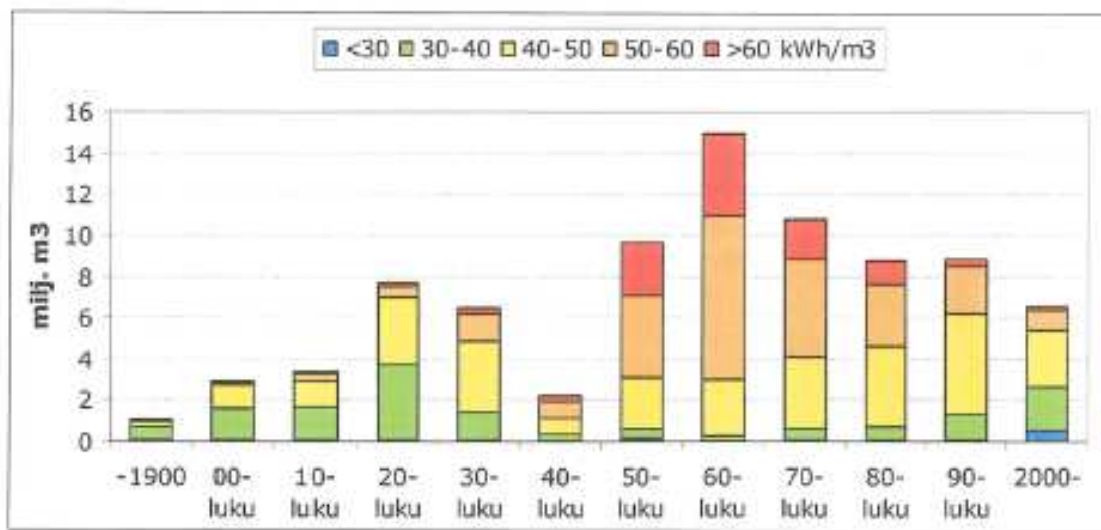
5 Energiatohokkuutta parantavat toimenpiteet

Rakennukseen tulevien lämpöenergioiden ja lämpöhäviöiden jakautumista voidaan havainnollistaa lämpöenergiataseella. Kuvasta 3 voidaan huomata, että suurimmat lämpövirtaukset ulos rakennuksesta 1960–1980 lukujen asuinkerrostaloissa tulevat ilmanvaihdosta, lämpimästä käyttövedestä ja ikkunoista. Lämmitysjärjestelmällä kateetaan suurin osa (66–72 %) lämmöntarpeesta, loppu lämmitysenergia saadaan sähkölaiteista, auringosta ja ihmisistä.



Kuvio 3. 1960–1980-lukujen asuinkerrostalon lämpöenergiatase (17.)

VTT:n tutkimusten mukaan 1960-luvun asuinkerrostalon alkuperäinen lämmitysenergian ominaiskulutus oli 213 kWh/as-m², ja vastaava kulutus 1970-luvun asuinkerrostalossa oli 188 kWh/as-m², a. Helsingin Energian mukaan asuinkerrostalojen kaukolämmön kulutukset ovat kuvan 4 mukaiset. (15.)



Kuvio 4. Asuinkerrostalojen kaukolämmityksen ominaiskulutus eri vuosikymmenillä (8.)

5.1 Vesi- ja viemärijärjestelmät

Suomalaiset kuluttavat tyypillisesti vettä 90–270 litraa asukasta kohden vuorokaudessa ja keskimääräinen vedenkulutus on 155 litraa vuorokaudessa. Tavoitetaso on 130 litraa henkilöä kohden vuorokaudessa. (18.) Lämpimän veden osuus on tyypillisesti noin 40 % talousveden kokonaiskulutuksesta eli 62 litraa henkilöä kohden. Asuinrakennuksissa käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia vastaa noin 5 % Suomen kokonaisenergian käytöstä. Tästä lähes puolet kuluu vedenkulutuksesta riippumattomaan käyttöön. (19.)

Henkilökohtainen vaihtelu kulutustottumuksissa on lukujen perusteella huomattavan suuri. Omakotitaloissa vedenkulutus asukasta kohti on keskimäärin pienin, seuraavaksi pienin keskimääräinen kulutus on rivitaloissa, ja suurin kulutus asukasta kohti on kerrostaloissa. Vedenkulutuksen jakauma on keskimäärin seuraava: peseytymiseen kuluu noin 40 % vedestä, wc:ssä noin 25 %, keittiössä noin 22 % ja loput 13 % pyykinpesussa. (20.)

Helsingissä kerrostaloasukkaan keskimääräinen vedenkulutus on 170 litraa vuorokausi, joka vastaa noin 62 m³:ta vuositason (16). Tästä saadaan keskimäärin lämpimän veden kulutukseksi 68 litraa vuorokaudessa henkilöä kohden ja vuositason määrä on noin 25 m³:ta, kun lämpimän veden osuus on 40 % kokonaiskulutuksesta.

Vesimittarien asentaminen

Huonekohtaisten vesimittareiden käyttö ja vaikutukset rakennusten energiankulutukseen -työryhmän mukaan realistinen arvio pelkästään huoneistokohtaisesta mittauksesta ja laskutuksesta aiheutuvalle keskimääräisen vedenkulutuksen pienenemiselle on suuruusluokkaa 10 %. Työryhmän mukaan vedenkulutuksen mittaroinnilla saavutettava säästö on 10–30 % ja laskennallinen vaikutus rakennuksen lämmitysenergian kulutukseen on noin 3-9 %. (19.)

Ympäristöministeriön asetuksen 4/13 rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä perustelumuistion mukaan huoneistokohtaisella käyttöveden mittauksella ja laskutuksella voidaan alentaa vedenkulutusta pysyvästi noin 20 %. (21.)

Putkien eristykset

Vesijohto on eristettävä rakenteissa ja hormeissa sekä lämmön että kondensoitumisen takia. Vesijohtojen eristesarjat on esitetty taulukossa 1. Kylmän käyttöveden putket tulisi eristää kondenssitiiviiksi, jotta vältytään veden tiivistymiseltä kylmän vesijohdon pintaan.

Taulukko 1. Vesijohtojen talotekniset eristeet (22.)

Vesijohto	Kylmä käyttövesi		Lämmin käyttövesi ja lämpimän käyttövedenkierto		
Sijainti	Näkyvä	Ei näkyvä	Näkyvä	Ei näkyvä, nousukuilu	Ei näkyvä
Eristesarja	21	22	25	23	25

Eristyspaksuudet sarjoittain ovat taulukon 2 mukaiset.

Taulukko 2. Putkien eristyspaksuudet sarjoittain (23.)

Putken ulkohalkaisija (mm)	Eristyspaksuus (mm)				
	Sarja 21	Sarja 22	Sarja 23	Sarja 24	Sarja 25
10–49	20	30	40	50	60
54–89	30	40	50	60	80
90–169	40	50	60	80	100

Lämpimän käyttöveden häviöt voidaan laskea Rakentamismääräyskokoelman osassa D5 annetuilla ohjearvoilla. Laskennassa otetaan huomioon sekä lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde että kiertojohdon lämpöhäviöt. Laskennassa eristepaksuudet ovat suoraan verrannollisia putkien paksuuteen. Laskentasääntöjen mukaan puolet lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviöistä voidaan laskea tiloihin lämpökuormaksi. (9.)

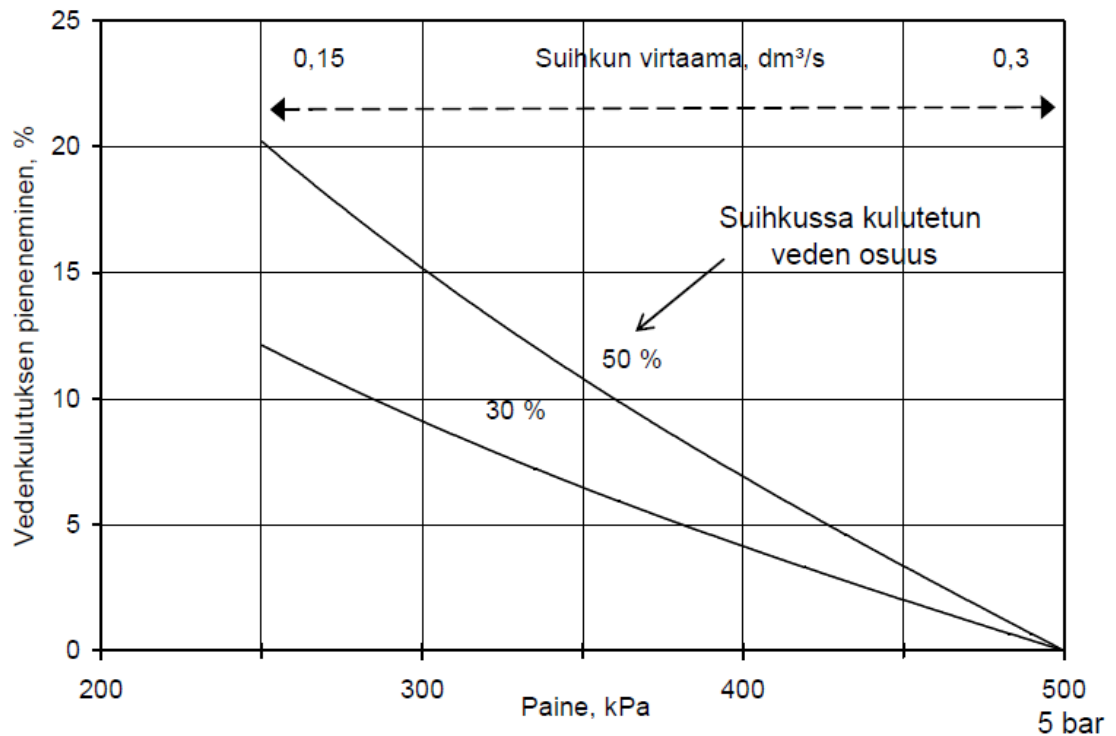
Vesikalusteet ja paineen säätö

Ennen vuotta 1976 asennetut WC-istuimet voivat käyttää yhdellä huuhtelukerralla vettä 9–12 litraa ja vuosina 1976–1993 hankitut WC-istuimet käyttävät vettä noin 6 litraa huuhtelukertaa kohden. Nykyiset kaksitoimiset WC-istuimet käyttävät vettä kotitalouksissa 4 litraa (iso huuhtelu) ja 2,5 litraa (pieni huuhtelu). WC-istuimien vaihtamisella voidaan saavuutta kalustekohtaisesti säästää jopa 75 %. (17.)

Vanhojen hanojen vaihtamisella uusiin voidaan saavuttaa 10–25 %:n huoneistokohtainen säästö vedenkulukseen. Tämä edellyttää, että uusien hanojen virtaamat muistetaan mitata ja säätää. (17.)

Paineenalennuksella voidaan usein saavuttaa merkittävää säästöä veden kulutuksessa. Mikäli kiinteistön vesilaitteistolle käytettävissä oleva paine päävesimittarin jälkeen on yli 500 kPa, tulee verkostoon asentaa paineenalennusventtiili, jolla paine lasketaan mitoituksen edellyttämälle tasolle. Kuvasta 5 voidaan todeta, että paineen alentamisella

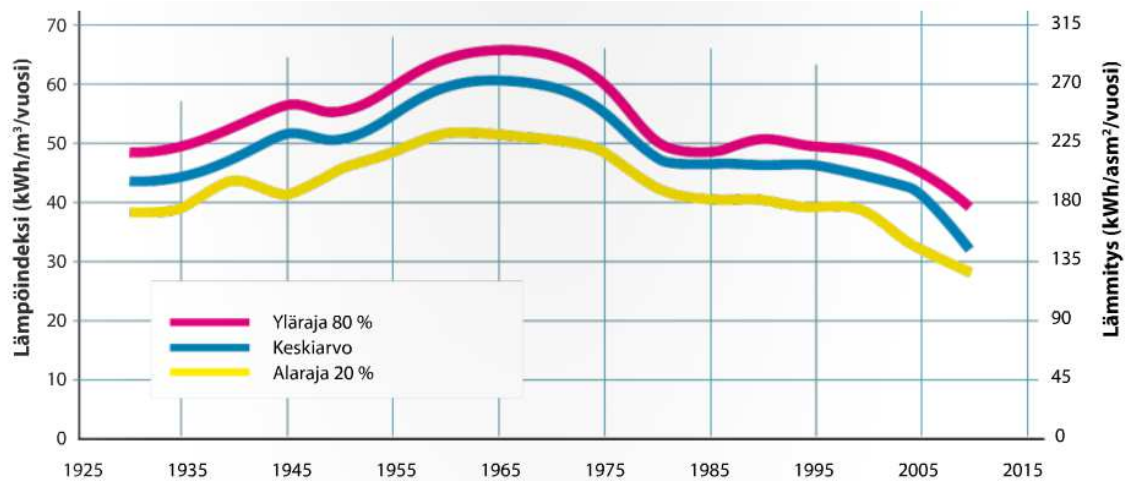
500 kPa:sta 300 kPa:in voidaan saavuttaa 10–15 %:n säästö veden kokonaiskulutuksessa. (19.)



Kuvio 5. Vesijohtoverkoston paineen vaikutus veden kokonaiskulutukseen, kun parametrina on suihkussa kulutetun veden osuus kokonaiskulutuksesta (19.)

5.2 Lämmitysjärjestelmät

Lämmitysenergiankulutus 1960–1980-luvulla valmistuneissa asuinkerrostaloissa on Etelä-Suomessa välillä 200–295 kWh/ as-m², a. Lämmitysenergian kulutusta ja lämpöindeksin vaihteluja eri vuosikymmenien asuinrakennuksille on esitetty kuvassa 6. Lämmitysenergian kulutuksesta käyttöveden lämmittämiseen kuluu 35–40 kWh/ as-m², a, jolloin itse rakennuksen lämmittämiseen kuluu 160–260 kWh/ as-m², a. 1960–1980-luvulla rakennetussa asuinkerrostalossa kuluu silloin keskimäärin lämmittämiseen energiaa 210 kWh/ as-m², a. (17.)



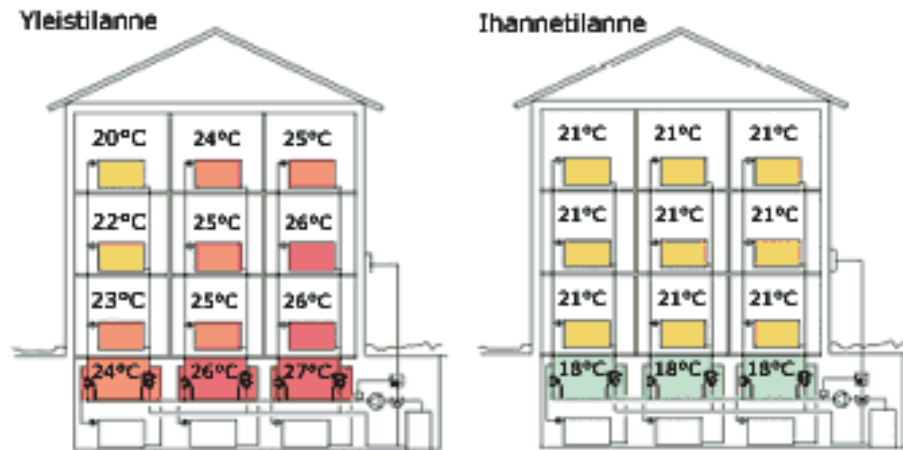
Kuvio 6. Asuinkerrostalon lämpöenergiankulutus eri vuosikymmenillä (17.)

Lämmitysverkoston perussäätö ja patteriventtiilien uusiminen

Linjasaneerauksen yhteydessä tulisi vähintään suorittaa järjestelmän uudelleen säätö, jolloin voidaan varmistua siitä, että järjestelmä vastaa nykyistä tilannetta. Usein itse patterit ja putkistot ovat niin hyvässä kunnossa, ettei niitä käyttöikänsä puolesta tarvitse vaihtaa.

Lämmitysverkoston perussäädöllä viritetään järjestelmä toimimaan tarkoituksenmukaisesti niin, että kaikissa tiloissa on suunnitellut lämpötilat. Perussäädöllä myös varmistetaan lämmityskulujen tasapuolinen jakautuminen asukkaiden kesken. Paras tulos saadaan, kun samalla uusitaan patteriventtiilit esisäädettäviksi ja varmistetaan, että termostaatit eivät jää esimerkiksi verhojen taakse. (24.)

Arvioiden mukaan Suomen asuinrakennuskannasta noin 75 % on puutteellisesti säädetty. Lisäksi arvioidaan, että näissä kiinteistöissä lämpötilaerot ovat keskimäärin enemmän kuin 3 °C, jopa 6 °C lämpötilaerot eivät ole harvinaisia. Lämmitysverkoston perussäädöllä voidaan saavuttaa 10–15 %:n energiansäästö. Kuvassa 7 on esitetty oikealla asuinkerrostalon ihanne tilanne ja vasemmalla mahdolliset huonelämpötilojen vaihtelut. (24.)



Kuvio 7. Tyypillinen tilanne ennen perussäätöä ja sen jälkeen (24.)

Lämmitysjärjestelmän uusiminen tai vaihtaminen

Kaukolämmön lämmönjakolaitteiden vaihtokä riippuu käyttökohteesta ja suoritetuista huoltotoimenpiteistä. Luetettavuus kuitenkin heikkenee oleellisesti yli 20 vuoden iässä, samalla käyttö- ja ylläpitokustannukset kasvavat. Kokonaisvaltaisen lämmityslaitteiston päivityksen ja oikein asetettujen säätöjen myötä voidaan saavuttaa säästöjä myös energiankulutuksessa. Itse siirtimen uusiminen ei ole kovinkaan merkittävä energiansäästötoimenpide. (25.)

Vanhan öljylämmityksen hyötysuhde on tyypillisesti 75–80 %, kun uusilla öljylämmityskattiloilla päästään jopa 90–95 %:n hyötysuhteisiin. Öljylämmitysrakennuksissa kuitenkin tulee useimmiten kysymykseen koko lämmitysjärjestelmän uusiminen kuin vanhan järjestelmän hyötysuhteen parantaminen. (17.)

Sekä öljylämmitteisiä että kaukolämmöllä lämmitettäviä rakennuksia on muutettu maalämpöjärjestelmiksi. Öljylämmitteisissä rakennuksissa siirryttäessä maalämpöön saavutetaan kuvan 8 mukaan 49–79 %:n vuotuiset säästöt lämmitysenergian kulutuksessa. Kaukolämmöstä siirtyminen maalämpöön on suuresti riippuvainen kaukolämmön ja sähkön hinnasta. Pahimmassa tapauksessa lämmityskustannukset voivat jopa nousta, mutta parhaimmillaan saavutetaan lähes 60 %:n säästö. (17.)

Muita vaihtoehtoisia lämmitysmuotoja ovat pelletti ja ilma-vesi-lämpöpumput. Näiden järjestelmien osuus on kuitenkin hyvin pieni ja varsinkin Helsingin alueella tällaisen

järjestelmän toteuttaminen hyvin epätodennäköinen, joten niitä ei huomioida tässä opinnäytetyössä.

Taulukko 4.7. Lämmitysjärjestelmän uudistamisella saavutettavat säästöt vuotuisissa lämmityskustannuksissa.													
Saavutettava vuotuinen säästö lämmityskustannuksissa, %		Lämmitysenergian hinta lämmitysjärjestelmän uudistamisen jälkeen €/MWh											
		Kaukolämpö			Maalämpö*			Pelletti**			Ilma-vesi-lämpöpumppu***		
Lämmitysenergian hinta lähtötilanteessa, €/MWh		55	75	95	100	130	160	40	50	60	100	130	160
Öljy****	100	56 %	40 %	24 %	68 %	58 %	49 %	60 %	50 %	40 %	50 %	35 %	20 %
	120	63 %	50 %	37 %	73 %	65 %	57 %	67 %	58 %	50 %	58 %	46 %	33 %
	150	71 %	60 %	49 %	79 %	72 %	66 %	73 %	67 %	60 %	67 %	57 %	47 %
Kaukolämpö	55	-	-	-	27 %	5 %	-16 %	9 %	-14 %	-36 %	9 %	-18 %	-45 %
	75	-	-	-	47 %	31 %	15 %	33 %	17 %	0 %	33 %	13 %	-7 %
	95	-	-	-	58 %	45 %	33 %	47 %	34 %	21 %	47 %	32 %	16 %
Varaava sähkö	100	45 %	25 %	5 %	60 %	-	-	50 %	38 %	25 %	38 %	-	-
	130	58 %	42 %	27 %	-	60 %	-	62 %	52 %	42 %	-	38 %	-
	160	66 %	53 %	41 %	-	-	60 %	69 %	61 %	53 %	-	-	38 %

Kuvio 8. Lämmitysjärjestelmän uudistamisella saavutettavat vuotuiset säästöt (9.)

Kuvan 8 taulukossa on käytetty seuraavia lähtöarvoja, maalämpöpumppujärjestelmän vuotuinen lämpökerroin 2,5, pellettilämmityksen hyötysuhde 80 %, ilma-vesi-lämpöpumpun vuotuinen lämpökerroin 1,6 ja öljylämmityksen hyötysuhde 80 %. (17.)

5.3 Ilmanvaihtojärjestelmät

Tarkastelukauden asuinkerrostalot on yleensä toteutettu joko painovoimaisella ilmanvaihdolla tai koneellisella poistoilmanvaihdolla. Molempien järjestelmien ongelmana on, että poistoilman lämpö menee täysin hukkaan. Lisäksi järjestelmien ongelmana on korvausilman tuonti tiloihin. Talviaikaan kylmää korvausilmaa on vaikea tuoda tiloihin vedottomasti eikä korvausilmaa suodateta. Korvausilman aiheuttama vedontunne voi johtaa korvausilma-aukkojen umpeen teippaamiseen, jolloin korvausilma alkaa tulla muun muassa postiluukun kautta porraskäytävästä ja ikkunoiden ja ovien raoista. Tämä taas voi johtaa asunnon liian suureen alipaineisuuteen ja sisäilman laadun huononemiseen. (17.)

Ilman tulisi vaihtua kerran kahden tunnin aikana. Usein tätä ei kuitenkaan saavuteta ja esimerkiksi linjasaneerauksen yhteydessä olisi hyvä tarkastaa kanavat/hormit, mitata tai muuten varmistaa ilmamäärät ja varmistaa korvausilmareittien toimivuus.

Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimainen ilmanvaihto perustuu lämpötilan ja tuulen aiheuttamiin paine-eroihin sisä- ja ulkotilojen välillä. Tämä aiheuttaa sen, että kesällä ilmanvaihto voi olla täysin olematonta ja talviaikaan ilmanvaihtokertoimet ovat tarpeettoman suuret. (17.)

Painovoimaisella ilmanvaihdolla toteutetuissa järjestelmissä on vaikeaa saavuttaa energiansäästöjä, ellei uusita koko järjestelmää. Linjasaneerauksen yhteydessä voidaan kuitenkin varmistaa järjestelmän toimivuus ja parantaa sisäilmanlaatua muun muassa hallituilla korvausilmareiteillä.

Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisissa poistoilmanvaihtojärjestelmissä energian säästöä voidaan saavuttaa varmistamalla, että ilmanvaihtokertoimet eivät ole tarpeettoman suuret, ilmanvaihtoreitit ovat kunnossa ja uusimalla järjestelmän puhaltimet. Puhaltimien uusimisella voidaan saavuttaa jopa 50 %:n säästö puhallinsähkön kulutuksessa. (17.)

Järjestelmään voidaan suhteellisen helposti täydentää poistoilmalämpöpumpulla. Näin poistoilman lämpöä voidaan siirtää lämmitysjärjestelmään ja käyttöveden lämmitykseen. Poistoilmalämpöpumpulla voidaan yleensä kattaa 35–50 % asuinkerrostalon lämmöntarpeesta, joka tarkoittaa että järjestelmä tarvitsee aina rinnalleen lisälämmönlähteen. Lisälämmönlähteenä käytetään yleensä olemassa olevaa lämmitysjärjestelmää. Lämpöpumpun lämpökerroin on tyypillisesti 3,0–4,0 ja vuotuinen lämpökerroin 1,5–2,0. (17.)

Koneellinen tulo-poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla

Mikäli ilmanvaihto päätetään uusi kokonaan, tulee kysymykseen joko keskitetty tai hajautettu järjestelmä poistoilman lämmöntalteenotolla. Järjestelmän etuna on tuloilman suodatus ja hallittu tuloilman lämpötila, jolloin päästään eroon vedon tunteesta. Järjestelmän hyvän toiminnan edellytyksenä on, että rakennus on mahdollisimman tiivis.

Keskitetyn järjestelmän etuina ovat yleensä pienemmät aloitus- ja huoltokustannukset. Hajautetun järjestelmän etuina ovat parempi lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde sekä huoneistokohtainen säädettävyys. (17.)

Rakentamismääräyskokoelman osan D2 ohjeistuksen mukaan keskitetyssä järjestelmässä lämmönsiirtimenä ei voida käyttää regeneratiivista lämmönsiirrintä, kun poistoilma sisältää luokan 3 poistoilmaa enemmän kuin 5 %. Luokan 3 poistoilmaksi luokitellaan muun muassa asuinhuoneiden wc- ja pesutilojen poistoilma. Hajautetussa järjestelmässä ei lämmönsiirrin tyypille ole asetettu vaatimuksia, koska yhden perheen asunnoissa voidaan käyttää regeneratiivista lämmönsiirrintä lämmöntalteenottoon luokan 3 ilmasta. (10.)

Keskitettyssä järjestelmässä yksi ilmanvaihtokone palvelee useampia asuntoja, esimerkiksi koko rakennuksen asuntoja tai asuntoja porrashuonekohtaisesti. Ilmanvaihtokone sijoitetaan joko vesikaton tai ullakolle konehuoneeseen. Keskitettyssä järjestelmässä voidaan hyödyntää olemassa olevia poistoilmakanavia, mikäli ne kunnoltaan sen mahdollistavat, jolloin tarvitsee rakentaa vain uusi tuloilmakanavisto. Keskitettyssä järjestelmässä realistisesti saavutettava poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on 65 %, kun otetaan huomioon Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 esitetty jäteilman minimilämpötila, +5 °C. Yleisesti keskitetyn järjestelmän vuosihyötysuhde kuitenkin vaihtelee välillä 45–55 %. (9; 17.)

Hajautetussa järjestelmässä jokaista huoneistoa palvelee yksi ilmanvaihtokone, joka on yleensä sijoitettu itse huoneistoon. Jokaiselta koneelta johdetaan jäteilmakanava vesikaton ja raitisilman otot sijoitetaan huoneiston ulkoseinään. Joissain tapauksissa voidaan jäteilma toteuttaa seinästä puhalluksella, mutta tällainen ratkaisu vaatii rakennuspaikkakohtaisen asiantuntija selvityksen. Kun kaikki kanavistot ovat uusia, voidaan niissä puhdistettavuuden ja mitoituksen osalta noudatetaan uudisrakentamisen määräyksiä. Hajautetussa järjestelmässä realistisesti saavutettava poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on 75 %. Useille asuntokohtaisille koneille on olemassa VTT:n sertifikaatit, joissa on esitetty järjestelmän vuosihyötysuhde. Korkeimmillaan päästään Etelä-Suomen sääoloissa 75 %:n vuosihyötysuhteeseen. (26.)

6 Investointilaskenta ja lähtötiedot

Korjausrakentamisen energiansäästöasetuksen mukaan energiansäästötoimenpide on kannattava, mikäli asuinrakennuksissa takaisinmaksuaika on alle 30 vuotta, ellei laitteen käyttöikä ole tätä lyhempi. Tarkasteluaikana laskelmissa käytetään laitteiden tai järjestelmien teknistä käyttöikää tai asetuksen mukaista 30 vuotta, mikäli tekninen käyttöikä on tätä pidempi.

Takaisinmaksuajat on laskettu ottaen huomioon lainojen korkokustannukset sekä inflaatio. Mikäli järjestelmään kohdistuu suurempia huoltokustannuksia tarkastelujakson (30 vuotta) aikana, otetaan nämä myös huomioon laskelmissa.

Nykyarvomenetelmää käytetään usein investoinnin kannattavuuden arvioimisessa. Nykyarvomenetelmällä diskontataan kaikki tuotot, investoinnit ja muut kulut nykyhetkeen ja lasketaan ne yhteen. Tämä voidaan kirjoittaa yhtälön 1 muotoon.

$$P = \sum_{k=1}^n \frac{T_k}{(1+i)^k} - \sum_{k=1}^n \frac{K_k}{(1+i)^k} - I_0 - \frac{S}{(1+i)^n} \quad (1)$$

T_k on vuoden k tuotot, €

K_k on vuoden k kulut, €

I_0 on alkuinvestointi, €

S on jäännösarvo vuoden n lopussa, €

i on laskentakorko

Mikäli $P > 0$, on hanke kannattava.

Nykyarvomenetelmä voidaan esittää myös jaksollisten, samansuuruisten suoritusten diskonttaustekijöitä käyttäen yhtälöä 2.

$$P = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} T + \frac{1}{(1+i)^n} S - I_0 \quad (2)$$

T on vuotuisen nettotuotot

Korjausrakentamisen kannattavuutta tarkasteltaessa jäännösarvoa S ei yleensä ole.

Käyttämällä laskentakorkona reaalikorkoa, joka ottaa huomioon inflaation ja eskalaation, voidaan huomioida rahan arvon vaihteluita ja hinnan muutoksia. Laskelmissa inflaatio ja eskalaatio otetaan huomioon yhtälöiden 3 ja 4 avulla.

$$r = \frac{i-f}{1+f} \quad (3)$$

r on reaalikorko
i on nimelliskorko
f on inflaatio

$$r_e = \frac{i-e}{1-e} \quad (4)$$

r_e on eskalaation huomioon ottava reaalikorko
e on eskalaatio

Eskalaatio tarkoittaa energian hinnan nousua, mutta vastaavia yhtälöitä voidaan käyttää myös esimerkiksi veden tai sähkön hinnan nousulle, mikäli se poikkeaa yleisestä inflaatiosta.

Laskelmia varten luodaan Excel-taulukkoja, joiden laskelmat esitetty liitteinä. Takaisinmaksuaika saadaan laskettu nykyarvon perusteella käyttäen Excelin tavoitteen haku-toimintoa asettamalla P nolaksi ja ratkaisemalla n.

Korollinen takaisinmaksuaika voidaan laskea myös yhtälöllä 5, jota voidaan käyttää helpommin kun ei haluta ottaa inflaatiota tai eskalaatiota huomioon.

$$n = \frac{\ln \frac{T}{T - I_0}}{\ln (1-i)} \quad (5)$$

Jotta voidaan arvioida korjausrakentamisen taloudellisuutta pitkällä aikavälillä, tulee tietää sekä hinnan nousu sähkölle, vedelle ja kaukolämmölle että lainan korkotaso ja inflaatio.

Veden hinnan kehitystä arvioitiin Sastamalan kaupungin vesimaksujen hintakehityksen perusteella (27). Hinnan nousua tarkastellaan 10 vuoden aikajaksolla. Taulukosta voi-

daan arvioida veden hinnan olleen vuonna 2002 1,42 €/m³ ja jäteveden hinnan 1,48 €/m³, jolloin kokonaishinnaksi muodostuu 2,9 €/m³. Vastaavasti vuonna 2012 veden hinnan arvioin olevan 1,9 €/m³ ja jäteveden hinnan 2,5 €/m³, jolloin kokonaishinta on 4,4 €/m³. Näiden lukujen perusteella saadaan veden hinnan vuosimuutokseksi 4,7 %. Laskelmissa käytetään HSY:n vesihuollon hinnastoa, ja hinnat on esitetty tarkemmin luvussa 7.

Sähkön ja kaukolämmön hinnat ja vuosimuutokset on haettu Tilastokeskuksen kotisivuilta, nämä tiedot on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Energian hinnat tammikuulta vuosilta 2003–2013. (28.)

Vuosi	Sähkön hinta c/kWh	Vuosimuutos %	Kaukolämmön hinta €/MWh	Vuosimuutos %
2003	7,51	13,6	38,64	2,6
2004	8,14	8,4	38,18	8,9
2005	7,97	-2,1	40,4	2,6
2006	8,03	0,8	43,17	2,4
2007	-	-	45,06	-1,2
2008	9,22	-	48,35	7,3
2009	10,28	11,4	55,76	15,3
2010	10,5	2,1	53,99	-3,2
2011	11,57	10,2	60,07	-
2012	11,84	2,3	64,55	7,5
2013	12,15	2,6	69,53	7,7

Sähkön osalta tiedot on rajattu koskemaan yritys- ja yhteisöasiakkaita joiden vuosikulutus on alle 20 MWh/vuosi. Kyseinen tilasto on kuitenkin saatavana vain vuosille 2008–2013, jolloin aikaisemmaksi tilastoksi vuosille 2003–2006 on valittu pienteollisuus sähkön käytöllä 150000 kWh/vuosi. Hinnat eivät sellaisellaan ole vertailukelpoisia keskenään, mutta vuosimuutoksesta voidaan arvioida sähkön hinnan nousua.

Kaukolämmön hinnat ovat valittu vuosille 2003–2010 kerrostalolle, jonka energiankulutus 450 MWh/vuosi ja vuosille 2011–2013 kerrostalolle, jonka energiankulutus on 600

MWh/vuosi. Energian kulutuksen lisäksi kaukolämmön hinnoissa on tapahtunut tilastomenetelmän muutos vuodesta 2011 eteenpäin, joten hinnat vuosilta 2003–2010 eivät ole vertailukelpoista vuosien 2011–2013 hintojen kanssa. Kuitenkin vuosimuutoksen prosenteista voidaan laskea keskimääräinen energianhinnan nousu tarkastelu aikana.

Sähkön vuosittainen hinnan nousu on ollut vuosina 2003–2013 noin 5,4 prosenttia, kun vastaava hinnan nousu kaukolämmölle on ollut noin 5,3 prosenttia. Näitä arvoja voidaan käyttää laskennassa vuosittaiselle hinnan nousulle. Sähkön hinta vuonna 2013 on keskimäärin 12,15 c/kWh ja kaukolämmön hinta 69,53 €/MWh. Sähkön hintana käytetään keskiarvoa, koska liittymäsopimuksen voi tehdä minkä sähköyhtiön kanssa haluaa. Helsingin energian kaukolämmön hinta on hyvin lähellä keskihintaa, jolloin on perusteltua käyttää laskennassa keskihintaa. Hinta ja hinnan nousutiedot on esitetty taulukossa 4.

Kevyen polttoöljyn keskihinta kuluttajalle vuonna 2013 on 110,6 snt/l, kun otetaan huomioon verot, ja hinnan nousu on vuositason 6,6 % (29). Hinta ja nousutiedot on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Laskennan hintojen ja hinnan nousun lähtötiedot.

	Hinta	Hinnan nousu %
Vedenhinta 2013	4,92 €/m ³	4,7
Kaukolämpö 2013	69,53 €/MWh	5,4
Sähkön hinta 2013	12,15 c/kWh	5,3
Öljyn hinta 2013	110,6 snt/l	6,6

Inflaatio ja asuntolainan korko tiedot on haettu Suomen pankin kotisivuilta. Tiedot on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Inflaatio ja asuntolainojen todellinen vuosikorko vuosina 2003–2012.

Vuosi	Inflaatio %	Asuntolainan todellinen vuosikorko %
2003	0,9	3,98
2004	0,2	3,27
2005	0,9	3,2
2006	1,6	3,35
2007	2,5	4,39
2008	4,1	4,91
2009	0	3,35
2010	1,2	2,09
2011	3,4	2,3
2012	2,8	2,62

Suomen pankin taulukoiden perustella vuosina 2003–2012 inflaatio on ollut keskimäärin 1,8 prosenttia vuositason tasolla ja asuntolainojen todellinen vuosikorko on ollut keskimäärin 3,3 prosenttia. Laskennan lähtötiedot on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Korko ja inflaatio.

	%
Korko	3,3
Inflaatio	1,8

7 Vesi- ja viemärijärjestelmien energiansäästötoimenpiteiden kustannustehokkuus

Vesi- ja viemäri järjestelmien energiansäästötoimenpiteitä ovat vesimittarien lisääminen, vesikalusteiden uusiminen sekä putkien eristäminen. Verkoston paineen alentamista ei näissä laskelmissa oteta huomioon, koska rakennuksen vesijohtoverkoston painetason voidaan olettaa olevan normaali. Vesimittareiden asentamisella voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä. Vesikalustekohtaisia säästöjä voidaan saavuttaa esimerkiksi uusimalla vanhat wc-istuimet uusiin vähän kuluttaviin. Vastaavasti säästöjä voidaan saavuttaa säätämällä vesikalustekohtaiset virtaamat oikeiksi. Putkien eristämällä ei saavuteta säästöä vedenkulutuksessa, mutta sillä voi olla suuri merkitys veden lämmittämiseen käytettävän energian tarpeeseen.

Veden hinta laskelmissa määrittyy HSY:n vesihuoltohinnaston mukaan. Laskutus perustuu sekä käyttömaksuun, joka määräytyy kulutuksen mukaan, että perusmaksuun, joka taas perustuu palvelujen käyttöön, kiinteistötyyppiin sekä kiinteistön kerrosalaan. Verollinen käyttömaksu vedelle on 1,30 €/m³ ja jätevedelle 1,62 €/m³. (30.)

Perusmaksu lasketaan yhtälöllä 6.

$$P = p \cdot k \cdot PAJ \quad (6)$$

p on palvelukerroin, joka määritellään palvelujen käytön perustella

k on kiinteistötyypin perustella määräytyvä kerroin

PAJ on kiinteistön kerrosalaan perustuva perusmaksu

Kun kiinteistö on liitetty kunnalliseen veteen, jäte- ja huleveteen, p on 1,0. k on kerrostaloille 2,5. PAJ määritellään taulukosta kerrosalan perusteella. Kyseinen kiinteistö osuu kerrosalan perusteella (3980 m²) maksuluokkaan G, jolloin PAJ :n verollinen hinta on 55,43 €/kk. Valitulle kiinteistölle saadaan perusmaksuksi 138,57 €/kk. (30.)

Veden kulutus kiinteistössä on 7136 m³/a. Tästä saadaan laskettua veden käytön kustannukset veden ja jäteveden käyttömaksujen perusteella. Käyttömaksuksi saadaan 20837,12 €/a, kun tähän lisätään vielä perusmaksu, joka on 138,57 €/kk, saadaan veden kulutuksen kokonaiskustannuksiksi 22500 €/a.

Lämmintä vettä kiinteistössä kuluu noin 40 % kokonaisveden kulutuksesta, joka on noin 2854 m³/a. Tämän lämmittämiseen kuluva energia voidaan laskea yhtälöllä 7. (9.)

$$Q_{\text{lämmitys, lkv}} = \frac{Q_{\text{lkv, netto}}}{\eta_{\text{lkv, siirto}}} + Q_{\text{lkv, varastointi}} + Q_{\text{lkv, kierto}} \quad (7)$$

$Q_{\text{lämmitys, lkv}}$ on lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve (kWh/a)

$Q_{\text{lkv, netto}}$ on lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve (kWh/a)

$\eta_{\text{lkv, siirto}}$ on lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde

$Q_{\text{lkv, varastointi}}$ on lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöt (kWh/a)

$Q_{\text{lkv, kierto}}$ on lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviöt (kWh/a)

Lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve lasketaan yhtälöllä 8. (9)

$$Q_{\text{lkv, netto}} = \rho_v c_{pv} V \Delta t / 3600 \quad (8)$$

ρ_v on veden tiheys (kg/m³)

c_{pv} on veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)

V on veden tilavuus (m³)

Δt on veden lämpötilaero (°C)

Yhtälöstä 8 saadaan lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarpeeksi 166,5 MWh/a. Lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde saadaan RakMK osan D5 taulukosta, joka on 0,97, kun kiinteistö on varustettu lämpimän veden kierrolla, jolloin lämpimän käyttöveden energiantarpeeksi tulee 171,7 MWh/a. (9.)

Koska lämmitysmuoto on kaukolämpö, ei lämpimälle käyttövedelle muodostu varastoinnista lämpöhäviöitä.

Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviöt lasketaan yhtälöllä 9. (9.)

$$Q_{l_{kv},kierto} = \left(\phi_{l_{kv},kierto,omin} L_{l_{kv}} + \phi_{l_{kv},lämm,omin} n_{lämmityslaitte} \right) \frac{t_{l_{kv},pumppu}^{365}}{1000} \quad (9)$$

$\phi_{l_{kv},kierto,omin}$ on lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviön ominaisteho (W/m)

$L_{l_{kv}}$ on lämpimän käyttöveden kiertojohtoon pituus (m)

$\phi_{l_{kv},lämm,omin}$ on lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen laitteiden ominaisteho (W)

$n_{lämmityslaitte}$ on lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen laitteiden lukumäärä (kpl)

$t_{l_{kv},pumppu}$ on lämpimän käyttöveden kiertojohtoon pumpun käyttöaika (h/vrk)

Mikäli tarkkoja arvoja ei ole tiedossa, voidaan käyttää RakMK osan D5 taulukko arvoja. Kun olemassa olevaa kiertojohtoa ei ole eristetty, saadaan taulukosta kiertojohtoon lämpöhäviön ominaistehoksi 40 W/m. Ominaispituus taulukon perusteella voidaan mittaamaan kiertojohtoon pituus, kun tiedetään rakennuksen nettoala. Tässä tapauksessa kiertojohtoon tarkka pituus on tiedossa, joka on 300 m, jota käytetään laskelmissa. Kiertojohtoon pituudessa ei ole otettu huomioon pohjakerroksen runkojohtoa. Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon ei ole kytketty lämmityslaitteita. Kiertovesipumpun oletetaan olevan käytössä jatkuvasti. (9.)

Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviöiksi saadaan noin 105,1 MWh/a, kun laskennassa käytetään edellä mainittuja lähtötietoja. Tästä lämpöhäviöstä lämpökuormaksi tuleva osuus on 50 % eli noin 52,5 MWh/a. Kun tarkastellaan koko rakennuksen energiankäyttöä, varsinaisten lämpöhäviöiden osuus on tuo noin 52,5 MWh/a. Lämpimän käyttöveden kustannusten laskennassa käytetään kuitenkin arvoa 105,1 MWh/a. (9.)

Yhtälön 7 perusteella saadaan lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeeksi 276,7 MWh/a. Energian hintana käytetään luvun 6 mukaista kaukolämmön keskihintaa, joka on 69,53 €/MWh. Lämpimän veden hinnaksi muodostuu 19239 €/a.

Lähtötilanteessa käytettävän veden hinnaksi muodostuu 41739 €/a, kun otetaan huomioon käytettävä vesi, lämpimän veden tuottamiseen kuluva energia sekä kiertoveden lämpöhäviöt, joita ei pystytä hyödyntämään muualla.

7.1 Vesimittarien asentaminen ja vesikalusteiden uusiminen

Huoneistokohtaisten vesimittareiden asentamisesta saavutettavana säästönä vedenkulutuksessa käytetään laskelmissa Ympäristöministeriön asetuksen 4/13 perustelumuis-
tion mukaista 20 %:n säästöä.

Toteutuneeseen asukaskohtaiseen kulutukseen perustuissa laskelmissa vesimittareiden asentamisen osalta liittyy riski, että vesimittareiden pois jättämistä perustellaan pienellä asukaskohtaisella kulutuksella. Asuinkerrostalojen asukkaat kuitenkin vaihtuvat ja vaikka samassa kerrostalossa oli aikaisemmin pieni kulutus, saattaa se uusien asukkaiden myötä ollakin suuri. Tästä syystä oma henkilökohtainen mielipiteeni on, että vesimittareiden asentaminen linjasaneerauksen yhteydessä olisi pakollinen, pienillä poikkeuksilla. Perusteltavaa olisi jättää vesimittarit pois, jos niitä joutuu asuntoihin asentamaan useampia pareja eikä putkireittejä pystytä muuttamaan olemassa olevista.

7.1.1 Käyttö- ja energiakustannukset

Vesimittareiden asentamisella saavutettavan 20 %:n säästö vedenkulutuksessa. Vesikalusteiden uusimisilla ja virtaamien säätämällä saavutetaan vielä 10 %:n säästö vedenkulutukseen. Vesimittareiden asentamisella saavutettava vedenkulutuksen säästö vastaan noin 34 l/vrk/hlö, jolloin veden kulutukseksi tulee 136 l/vrk/hlö. Vesikalusteiden uusimisesta saavutettava säästö lasketaan päivitetystä kulutuksesta, jolloin säästö on 13,6 l/vrk/hlö. Veden kulutukseksi jää 122,4 l/hlö/vrk, joka on alle tavoitetason. Saavutettu kokonaissäästö on 28 % alkuperäisestä.

Vedenkulutuksen säästön kustannusvaikutukset voidaan laskea käyttömaksun ja yhtiöiden 7, 8 ja 9 perusteella. Lämpimän veden osuuden oletetaan olevan 40 % veden kokonaiskulutuksesta. Kiertojohton lämpöhäviöiden oletetaan pysyvän samana ja laskennassa käytetään luvussa 6 esitettyjä arvoja. Vaikutukset vedenkulutukseen ja käyttökustannuksiin on esitetty taulukossa 7. Lämpimän veden kustannuksissa ei ole huomioitu kiertoveden lämpöhäviöitä, koska tästä tulevat kustannukset ja säästöt käsitellään erikseen.

Taulukko 7. Vedenkulutuksen kokonaiskustannukset.

	Lähtötilanne	20 %:n säästö	28 %:n säästö
Vedenkulutus (m ³ /a)	7136	5709	5138
Veden kulutuksen kustannukset (€/a)	22500	18333	16666
Lämpimän veden kulutus (m ³ /a)	2854	2284	2055
Lämpimän veden lämpöenergian tarve (MWh/a)	171,7	137,3	123,6
Lämpimän veden kustannukset (€/a)	11935	9548	8593
Kustannukset yhteensä (€/a)	34435	27881	25259

7.1.2 Investointikustannukset ja takaisinmaksuaika

Helsingin kaupungin rakennusvalvonnan viranomaiset ovat kysyneet vesimittareiden käyttöikä- ja kustannustietoja useilta uudis- ja linjasaneerauskohteiden urakoitsijoilta. Mekaanisten vesimittareiden käyttöikä on noin 10–15 vuotta ja etäluettavien mittareiden käyttöikä on noin 15–20 vuotta. Mekaanisten vesimittareiden investointikustannukset ovat noin 150–300 €/mittaripari ja etäluettavien vesimittareiden investointikustannukset ovat noin 300–500 €/mittaripari. Vuosittaiset luenta-, laskutus- ja huoltokustannukset 10–30 €/mittaripari (19). Teknisen käyttöiän jälkeen järjestelmä tulee peruskorjata, peruskorjauksen kustannukset ovat hieman pienemmät kuin alkukustannukset, noin 150–200 €/mittaripari. Laskennassa käytetään kustannusten osalta keskiarvoja eli investointi kustannukset ovat 300 €/mittaripari ja muut vuotuiset kustannukset 20 €/mittaripari. Laskelmissa oletetaan peruskorjauksen tapahtuvan 15 vuoden välein ja tarkastelu-aika on 30 vuotta.

Laskelmat tehdään kahdelle vaihtoehdolle, mittarit lisätään olemassa olevan käyttö-vesiverkoston mukaan, jolloin vesimittariparien lukumäärä on 100 kappaletta ja käyttö-vesiverkostoa muutetaan niin, että tarvitaan vain yhdet vesimittarit asuntoa kohden, jolloin vesimittariparien lukumäärä on 55 kappaletta. Takaisinmaksuaikoja tarkasteltaessa ei oteta huomioon veden perusmaksuja, koska ne pysyvät samana kaikissa vaih-

toehdoissa. Laskettaessa vesimittareiden takaisinmaksuaikaa käytetään erillistä Excelillä tehtyä laskuria, jota on esitelty tarkemmin luvussa 10.

Vesikalusteiden tekninen käyttöikä on 20–25 vuotta, joten voidaan olettaa, että näiden uusiminen olisi joka tapauksessa ajankohtaista linjasaneerauksen yhteydessä (31). Vesikalusteille ei erikseen lasketa takaisinmaksuaikaa, mutta niiden vaikutusta kokonaisuuteen voidaan tarkastella. Investointikustannuksissa otetaan huomioon myös vesikalusteiden uusimisesta tulevat kustannukset, jotka ovat kokonaisuudessaan 17 076 euroa. Energiansäästötoimenpiteiden investointikustannusten nykyarvot ja takaisinmaksuajat on esitetty taulukossa 8. Laskelmat on tehty hyödyntäen vesimittareiden takaisinmaksuaikojen laskemia varten tehtyä laskentatyökalua, jota on esitelty luvussa 10.

Taulukko 8. Vesimittareiden asentamisen investointikustannukset, nykyarvo ja korolliset takaisinmaksuajat

	Investointi- kustannukset	Nykyarvo	Korollinen takaisinmaksuaika
Vesimittareiden asentaminen nykyiseen verkostoon, säästö 20 %	30000 €	162019 €	8
Vesimittareiden asentaminen ja verkoston muutos, säästö 20 %	16500 €	203585 €	4
Vesimittareiden asentaminen nykyiseen verkostoon ja vesikalusteiden uusiminen, säästö 28%	47076 €	246698 €	8

Tarkastelemalla nykyarvoa, joka on jokaisessa vaihtoehdossa positiivinen, voidaan todeta, että kaikki investoinnit ovat näillä laskelmilla kannattavia. Korollisesta takaisinmaksuajasta voidaan todeta vesimittareiden ja verkoston muutoksen maksavan itsensä nopeimmin takaisin ja takaisinmaksuaika on melkein puolet lyhempi kuin vaihtoehdolla, jossa vesimittarit asennetaan nykyiseen verkostoon. Verkoston muutoksella voidaan saavuttaa muutenkin säästöjä, kun kaikkia käytöstä poistettavia vesijohtoja ei välttämättä tarvitse poistaa eikä rakenteita avata. Suunnittelijan tehtävänä on valita kokonaiskustannuksiltaan kustannustehokkain linjasaneerausratkaisu, eikä automaattisesti käyttää suunnitelmissa olemassa olevia vesijohtoreittejä.

Vesikalusteiden uusimisella saavutetaan huomattavat säästöt, kun alkuperäiset kalusteet ovat vanhat. Laskelma tehtiin, jotta voitaisiin tarkastella uusimisen vaikutusta säästöihin. Laskelmien perusteella voidaan todeta, että kalusteiden uusiminen linjasaneerauksen yhteydessä on kannattavaa.

7.2 Vesijohtojen eristäminen

Vesijohtojen eristämällä ei saavuteta säästöä vedenkulutuksessa, mutta sillä voi olla suuri merkitys veden lämmittämiseen käytettävän energian tarpeeseen. Vesijohtojen eristämällä saavutettavat säästöt ovat suoraan riippuvaisia eristeen paksuudesta sekä vesijohdon pituudesta. Optimoimalla reittien pituudet ja eristeenpaksuudet saavutetaan kustannustehokkain säästö.

7.2.1 Käyttö- ja energiakustannukset

Uusimalla kiertovesijohdot olemassa olevalle paikalle ja samalla parantamalla sen eristystä niin, että eristeen paksuus on $0,5 \times D$, jossa D on putken ulkohalkaisija, tippuu kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho arvosta 40 W/m arvoon 10 W/m. Jos eristeen paksuus on $1,5 \times D$, on kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho 6 W/m. Muuttamalla vesijohtojen reititystä niin, että jokaisella huoneistolinjalla on oma pystynousunsa, kiertovesijohdon pituus lyhenee 300 metristä 225 metriin. Jos taas vesijohtojen reititystä muutetaan porrashuonekohtaiseksi, lyhenee kiertovesijohdon pituus 250 metriin. Vaikutukset energiankulutukseen ja kustannuksiin on esitetty taulukoissa 9 ja 10.

Taulukko 9. Kiertovesijohdon eristysten vaikutukset lämpöhäviöihin ja kustannuksiin.

	Lähtötilanne	eristepaksuus 0,5 x D	eristepaksuus 1,5 x D
Ominaisteho (W/m)	40	10	6
pituus (m)	300	300	300
Kiertovesijohdon lämpöhäviöt (MWh/a)	105,1	26,3	15,8
Kiertovesijohdon lämpöhäviöiden kustannukset (€/a)	7309,0	1827,2	1096,3

Mikäli kiertovesijohtoreitit uusitaan, eristetään uudet kiertovesijohdot automaattisesti. Näin ollen ei tarvitse laskea eristämättömän kiertovesijohdon pituuden vaikutusta lämpöhäviöihin.

Taulukko 10. Kiertovesijohdon pituuden vaikutus lämpöhäviöihin ja kustannuksiin.

	eristepaksuus 0,5 x D	eristepaksuus 1,5 x D	eristepaksuus 0,5 x D	eristepaksuus 1,5 x D
Ominaisteho (W/m)	10	6	10	6
pituus (m)	250	250	225	225
Kiertovesijohdon lämpöhäviöt (MWh/a)	21,9	13,1	19,7	11,8
Kiertovesijohdon lämpöhäviöiden kustannukset (€/a)	1522,7	913,6	1370,4	822,3

7.2.2 Investointikustannukset ja takaisinmaksuaika

Kupariputkien tekninen käyttöikä on 40–50 vuotta ja valurautaviemäreiden 50 vuotta (31). Eristeiden käyttöiän tulee vastata putkien käyttöikää. Putkistoissa olevien venttiilien ja sulkujen tekninen käyttöikä on noin 10 vuotta. Koska näillä ei ole vaikutusta energiatehokkuuteen, ei näitä oteta huomioon laskelmissa. Vuosittaisia huoltokustannuksia ei putkien eristeistä tule, eristeiden kuntoa tulee kuitenkin seurata näkyviltä paikoilta. Kustannustarkastelussa otetaan huomioon vain kiertovesijohdon eristämisen kustannukset, koska tälle voidaan laskea takaisinmaksuaika. Tarkastellaan vaihtoehtoja, joissa putket uusitaan olemassa oleville paikoilleen sekä putket uusitaan niin että jokaiseen huoneistoon tulee yksi pystynousu. Lisäksi tarkastelu tehdään kahdella eri eristepaksuudella, eristepaksuudella 0,5 x D ja eristepaksuudella 1,5 x D. Eri vaihtoehtojen investointikustannukset, investointien nykyarvo ja takaisinmaksuajat on esitetty taulukossa 11. Investointien kustannuksissa on otettu huomioon myös työkustannukset. Työkustannukset on laskettu talotekniikka-alan työehtosopimuksen normituntihinnoittelulla. Eristekustannukset on laskettu talotekniikan tukkuliikkeen Onninen Oy:n hinnaston mukaan (32). Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 11. Kiertovesijohdon eristämisen investointikustannukset, investointien nykyarvo ja takaisinmaksuajat

	Investointi- kustannukset	Investointien nykyarvo	Korollinen takaisinmaksuaika
Putkipituus 225 m, eristys 0,5xD	4297 €	247086 €	0,7
Putkipituus 225 m, eristys 1,5xD	7326 €	262565 €	1,1
Putkipituus 300 m, eristys 0,5xD	5729 €	222352 €	1,0
Putkipituus 300 m, eristys 1,5xD	9768 €	248723 €	1,5

Kiertovesijohdon eristyksen investointien takaisinmaksuajat ovat hyvin lyhyet, mikäli vesijohto on eristämätön tai huonosti eristetty. Linjasaneerauksen yhteydessä kierto-vesijohto eristetään aina, joten etsitään kustannustehokkainta vaihtoehtoa. Korkein investointien nykyarvo on lyhimmillä putkipituudella sekä suurimmalla eristepaksuudella ja takaisinmaksuaikakin on vain hieman pidempi kuin ohuemalla eristeellä, jolloin voidaan todeta tämän olevan optimaalisin ratkaisu kannattavuuden osalta. Todellisuudessa tilanne voi olla toinen, koska paksun eristeen kanssa putken halkaisija on huomattavasti suurempi kuin ohuemalla eristeellä ja olemassa olevassa rakennuksessa putkien sijoittamisesta saattaa tulla ongelma. Ohuemmallakin eristeellä päästään huomattavan suureen investointien nykyarvoon ja korollinen takaisinmaksuaika on alle vuoden.

8 Lämmitysjärjestelmien energiansäästötoimenpiteiden kustannustehokkuus

Selkeästi helpoin tapa säästää lämmityskustannuksissa on huonelämpötilojen optimoiminen. Sopivana huonelämpötilana pidetään 21 °C (33). Mikäli huonelämpötilat ovat tätä korkeampia, voidaan pienellä säätämisellä säästää huomattavasti. Laskennallisesti voidaan sanoa, että 1 °C:n lämpötilan pudotuksella saavutetaan 5 %:n säästö energian kulutuksessa.

Lämmitysjärjestelmien energiansäästötoimenpiteitä ovat muun muassa lämmitysverkoston tasapainotus, lämmitysjärjestelmän päivitys tai kokonaan uusi lämmitysjärjestelmä. Lämmitysjärjestelmän tasapainotus kannattaa tehdä jo asumismukavuuden kannalta, mikäli tilojen lämpötilat poikkeavat suunnitelluista. Lämmitysjärjestelmän päivitys tai vaihtaminen tulee vastaan viimeistään siinä vaiheessa, kun nykyinen järjestelmä saavuttaa teknisen käyttöikänsä. Mikäli rakennus sijaitsee alueella, jossa on kaukolämpö saatavilla, on tämä helpoiten ja edullisimmin toteutettavissa. Mietittäessä maalämpöön vaihtamista tulee huomioida maalämpöjärjestelmän suuri tilantarve.

Kaukolämmöstä vaihtaminen muuhun lämmitysjärjestelmään Helsingin kaupunkialueella ei tunnu järkevältä ratkaisulta. Työssä kuitenkin tarkastellaan kuvitteellista tilannetta, jossa rakennuksessa olisi öljylämmitys. Lämmitysjärjestelmän uusimisen vaihtoehtoina on öljylämmityksen hyötysuhteen parantaminen tai lämmitysjärjestelmän vaihtaminen kaukolämpöön.

Lämmitysjärjestelmissä energian säästötoimenpiteet ovat hyvin erilaisia. Liian korkean lämpötilan vähentäminen vaatii vain oikean säätökäyrän valinnan, verkoston perussäätö on suhteellisen helposti toteutettavissa, kun taas lämmitysjärjestelmän uusimisesta muodostuu huomattavat kustannukset sekä pahimmassa tapauksessa pitkän katkoksen lämmityksessä.

Kyseisen aikakauden keskimääräisen asuinkerrostalon lämmitysenergian tarve on 210 kWh/ as-m², a. Asuinkerrostalon kokonaisasuinpinta-ala on 3215 m², jolloin lämmitysenergian tarpeeksi saadaan 675,2 MWh/a. Lämpökuormien hyödyntämisasteeksi on arvioitu 0,9, jolloin kiertovesijohdosta saatava lämpökuorma on 47,3 MWh/a. Lämmitysjärjestelmän energian tarve on tuolloin 627,9 MWh/a. Kiertovesijohdosta tulevat lämpökuormat on lähtötilanteessa huomioitu lämpimän käyttöveden kustannuksissa. Mikäli kiertojohdon lämpökuormat pienenevät energiansäästötoimenpiteenä, tulee tämä ottaa huomioon rakennuksen lämmitysjärjestelmän energiankulutuksessa.

Tuloilman lämmittämiseen kuluva osuus lämpöenergiasta on eritelty omana osanaan. Kun kokonaislämmitysenergian tarpeesta otetaan pois tuloilman lämmittämiseen kuluva energia, joka on 181,8 MWh/a, saadaan rakennuksen lämmittämisen energiantarpeeksi 446,1 MWh/a. Ostoenegian tarve saadaan, kun lämmitysenergian tarve jaetaan lämmitysjärjestelmän hyötysuhteella, joka kaukolämmölle on 0,97 (9). Näin saadaan

ostoenergian tarpeeksi 459,9 MWh/a ja vuosikustannukseksi 31977 €/a, kun energian hintana käytetään luvun 6 mukaista kaukolämmön keskihintaa.

8.1 Lämmitysverkoston perussäätö ja patteriventtiilien uusiminen

Lämmitysverkoston tasapainottamisella ja patteriventtiilien uusimisella voidaan saavuttaa 10–15 %:n säästö lämmityskustannuksissa, tarkastelussa käytetään keskiarvoa 12,5 %. Tarkastelussa otetaan huomioon rakennuksen kokonaislämmitysenergiatarve ilman ilmanvaihdon osuutta, koska perussäätö ei vaikuta ilmanvaihdon lämmitystarpeeseen. Tarkastelussa käytetään lämmitysmuotona kaukolämpöä ja hintana luvun 6 mukaista keskihintaa. Laskennassa otetaan huomioon myös lämmitysenergian tuoton vuosihyötysuhde, joka kaukolämmölle on 0,97. Kun otetaan huomioon käyttöveden lämpökuormista saatava hyöty ja kaukolämmön vuosihyötysuhde, saadaan alkuperäiseksi lämmitysenergiatarpeeksi 493,4 MWh/a ja energiankustannukseksi 35367 €/a.

Käyttö- ja energiakustannukset

Energiansäästötoimenpiteen jälkeen rakennuksen lämmitysenergian tarve on 431,7 MWh/a. Uudeksi lämmitysenergian vuosikustannukseksi saadaan 30944 €/a. Vuosikustannukset ovat keskenään vertailukelpoisia, vaikka laskennassa on mukana lämpimästä kiertovedestä saatavat lämpökuormat. Mikäli kiertoveden eristyksiä parannetaan, pienenee niistä saatavien lämpökuormien osuus huomattavasti ja vastaavasti varsinaisesta lämmitysjärjestelmästä tarvittaman lämpöenergian osuus kasvaa saman verran. Kokonaislämmitysenergian kustannuksia tarkasteltaessa, tulee kiertoveden osuus ottaa huomioon vain kerran.

Investointikustannukset ja takaisinmaksuaika

Vuosittainen saavutettava säästö perussäädöllä on 4423 €. Patteriventtiileiden uusimiskustannukset ovat Rakennustiedon Klara Net -ohjelman mukaan 3,01 €/brm², jolloin patteriventtiileiden investointikustannukset ovat 14376 € (34). Vastaavasti uuden vesikiertoisien patterijärjestelmän asennuskustannukset ovat 4,69 €/brm², jolloin voidaan olettaa tasapainotuksen asennuskustannuksien olevan korkeintaan puolet tästä eli 2,35 €/brm² (34). Asennuskustannuksiksi saadaan 11224 € ja investointikustannukset kokonaisuudessaan ovat 25600 €. Lämmitystermostaattien tekninen käyttöikä on noin 15 vuotta, jota on käytetty myös laskelmissa lähtötietona (31). Energiansäästötoimenpi-

teen investoinnin nykyarvo ja takaisinmaksuaika on esitetty taulukossa 12. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 12. Energiansäästötoimenpiteen nykyarvo ja korollinen takaisinmaksuaika.

	Investointi-kustannukset	Nykyarvo	Korollinen takaisinmaksuaika
Lämmitysverkoston perussäätö	25600 €	52629 €	5,4

Lämmitysjärjestelmän perussäätöä voidaan pitää kustannustehokkaana energiansäästötoimenpiteenä, koska investointien nykyarvo on selkeästi positiivinen ja takaisinmaksuaika on huomattavasti lyhempi kuin tekninen käyttöikä.

8.2 Lämmitysjärjestelmän uusiminen tai vaihtaminen

Vanhojen öljylämmitysjärjestelmien hyötysuhde on 75–80 %, kun uusissa järjestelmissä hyötysuhde on 90–95 %. Vaihtoehtoisesti voidaan nykyisen lämmitysjärjestelmän tilalle valita kokonaan uusi järjestelmä, joka tässä tapauksessa on kaukolämpö.

Käyttö- ja energiakustannukset

Laskennassa käytetään koko lämmitysenergian tarvetta, joka ilman lämmitysjärjestelmän hyötysuhdetta on 675,2 MWh/a. Hintoina käytetään luvun 6 keskihintoja. Kevyen polttoöljyn lämpöarvona voidaan käyttää 10 kWh/l. (29) Kustannusvertailu on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Lämmitysjärjestelmän vaikutus lämpöenergian tarpeeseen ja kustannuksiin

	Vanha öljyjärjestelmä	Uusi öljyjärjestelmä	Kaukolämpö
Hyötysuhde (%)	77,5	92,5	97
Lämmitysenergian ostotarve (MWh/a)	871,2	729,9	696,1
Lämmitysenergian kustannus (€/MWh)	110,6	110,6	69,53
Lämmitysenergian vuosikustannukset (€/a)	96355	80727	48400

Investointikustannukset ja takaisinmaksuaika

Järjestelmien välillä voidaan todeta olevan huomattavat vuosikustannuserot. Parantamalla kattilan hyötysuhdetta saavutetaan 15628 €:n vuosisäästö ja muuttamalla lämmitysjärjestelmä kaukolämpöön saavutetaan jopa 47955 €:n vuosisäästö.

Öljykattilan vaihtamisesta kustannuksia tulee lähinnä uuden kattilan ja polttimen uusimisesta sekä asennuksesta. Asennuskustannukset ovat kohtalaisen pienet, koska järjestelmään ei tarvitse tehdä suuria muutoksia. Asennuskustannukset ovat 1,51 €/brm², jolloin tarkasteltavaa rakennuksessa asennuskustannukset ovat 7211€. Uuden kattilan investointikustannukset ovat 8000 € ja polttimen investointikustannukset ovat 1900 €. Kustannukset on saatu LVI-liikkeestä, LVI Nystedt Oy. Investointien kokonaiskustannuksiksi muodostuu 17111 €. Tarkastelussa kattilan teknisenä käyttöikä on käytetään 25 vuotta ja polttimen 15 vuotta (31). Tarkastelussa huomioidaan polttimen uusiminen 15 vuoden päästä, jolloin lisäinvestointi on 1900 €

Kaukolämpöön siirtymisessä kustannukset muodostuvat pääasiallisesti uuden järjestelmän hankintakustannuksista, muutos- ja asennustöistä sekä kaukolämmön osalta liittymiskustannuksista. Liittymiskustannus kesällä 2013 on tämän kokoisesta kerrostalosta keskimäärin 21158 € (35). Kaukolämmön jakokeskuksen sekä asennustöiden keskimääräinen kustannus tämän kokoisissa kerrostaloissa on Rakennustiedon Klara Net-ohjelman mukaan 7 €/brm², jolloin kustannukset ovat 33432 € ja investointien kokonaiskustannus 54590 € (34). Siirtimien käyttöikä on noin 25 vuotta, jota käytetään kustannustarkastelussa. Edellä esitettyjen investointien nykyarvot ja takaisinmaksuajat on esitetty taulukossa 14. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 14. Lämmitysjärjestelmien päivittämisen investointikustannukset, nykyarvo ja korollinen takaisinmaksuaika.

	Investointi- kustannukset	Nykyarvo	Korollinen takaisinmaksuaika
Öljylämmityskattilan uusiminen	17111 €	494250 €	1,6
Lämmitysjärjestelmän vaihtaminen kaukolämpöön	54590 €	1519253 €	1,1

Molempien vaihtoehtojen takaisinmaksuajat ovat hyvin lyhyet ja nykyarvot huomattavan suuret, joten investointeja voidaan pitää kannattavina. Mikäli rakennus sijaitsee kaukolämpöalueella, voidaan laskelmien perusteella sanoa, että tällä saavutetaan huomattavasti suurempi vuosittainen säästö kuin öljykattilan uusimisella.

Lämmitysjärjestelmän päivittäminen uudempaa, kun rakennuksessa on huonon hyötysuhteen kattila, on yksi harvoja toimenpiteitä, joita voidaan suositella tehtäväksi pelkästään energiansäästön takia. Usein energiansäästötoimenpiteitä tehdään muun saneluksen yhteydessä tai esimerkiksi huonon sisäilman vuoksi, mutta tällaisessa tapauksessa säästöt ovat huomattavat, jolloin toimenpidettä voidaan perustella pelkällä energian säästöllä.

9 Ilmanvaihtojärjestelmien energiansäästötoimenpiteiden kustannustehokkuus

Ilmanvaihtojärjestelmistä tarkastellaan huippuimureiden päivittämistä uudempiin energiatehokkaampiin malleihin sekä koneellisen tulo-poistojärjestelmän lämmöntalteenotolla asentamista. Laskelmista esitetään sekä investoinnin nykyarvo että korollinen takaisinmaksuaika.

Ilmanvaihtojärjestelmien energiatehokkuutta voidaan parantaa usealla tavalla, joista helpoiten toteutettavissa oleva on puhaltimien uusiminen. Tällä ei kuitenkaan saavuteta kovinkaan suuria kokonaissäästöjä, koska järjestelmä vaikuttaa vain sähköenergian tarpeeseen, ei lämmitysenergian tarpeeseen. Toisena vaihtoehtona on koneellisen poistoilmajärjestelmän täydentäminen lämpöpumpulla. Kummassakin ratkaisussa voidaan hyödyntää olemassa olevaa kanavistoa, mikäli kanavisto on vielä hyvässä kun-

nossa, jolloin järjestelmä on helpompi toteuttaa kuin koneellisen tulo-poistojärjestelmän rakentaminen. Mikäli on mahdollista toteuttaa huoneistokohtainen ilmanvaihto jäteilman seinästä puhalluksella, on tällaisen järjestelmän rakentaminen usein suhteellisen helposti toteutettavissa selkeäpohjaisissa huoneistoissa. Mikäli joudutaan etsimään uusia reittejä jäteilmalle katolle, voi olla, että ilmanvaihdon toteuttamisen kustannukset nousevat niin suuriksi, ettei ratkaisu maksa itseään koskaan takaisin. Jos taas rakennuksessa kärsitään huonosta sisäilman laadusta, voidaan ilmanvaihdon rakentamista kohteeseen perustella jo pelkästään sisäilman laadun paranemisella.

Rakennuksessa on koneellinen poistoilmanvaihto. Ilmamäärät vastaavat ilmanvaihtokerrointa 0,5 1/h. Rakennuksen tilavuus on 8037,5 m³, jolloin poistoilmamäärä on 1,12 m³/s.

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve voidaan laskea yhtälöllä 10. (9)

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{vtulo} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (10)$$

Q_{iv} on ilmanvaihdon energian nettotarve (kWh)

t_d on ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24h)

t_v on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde (vrk/7vrk)

ρ_i on ilman tiheys (kg/m³)

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti (J/kg K)

q_{vtulo} on tuloilmavirta (m³/s)

T_s on sisälämpötila (°C)

T_u on ulkolämpötila (°C)

Δt on ajanjakson pituus (h)

Koska järjestelmässä ei ole lämmöntalteenottoa ja kaikki tuloilma tulee rakennukseen suoraan ulkoa, jolloin tuloilma lämmitetään huonetiloissa, on tuloilmavirta sama kuin poistoilmavirta. Laskennassa käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 Liitteen 2 säävyöhykkeen I ulkoilman keskilämpötiloja (8). Tästä saadaan ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeeksi 181,8 MWh/a ja ostoenergian tarpeeksi 187,4, kun otetaan huomioon kaukolämmön hyötysuhde. Vuosikustannukseksi tulee luvun 6 kaukolämmön keskihinnalla 13030 €/a.

Puhaltimia on rakennuksessa 4, jokaisella portaalla omansa. Puhaltimien keskimääräinen SFP-luku on 1,5 kW/(m³/s). Ilmanvaihdon sähköenergiankulutus voidaan laskea yhtälöllä 11 (9).

$$W_{\text{ilmanvaihto}} = \text{SFP} q_{\text{iv,poisto}} \Delta t \quad (11)$$

$W_{\text{ilmanvaihto}}$ on ilmanvaihdon sähköenergian tarve (kWh)

SFP on ilmanvaihdon SFP-luku (kW/(m³/s))

$q_{\text{iv,poisto}}$ on poistoilmavirta (m³/s)

Δt on ajanjakson pituus (h)

Tästä saadaan ilmanvaihdon sähköenergian tarpeeksi 14716,8 kWh/a ja vuosikustannukseksi, kun käytetään luvussa 6 annettua sähkön hintaa 12,15 c/kWh, 1788 €/a.

Ilmanvaihdon kokonaiskustannuksiksi muodostuu 14818 €/a, kun otetaan huomioon puhaltimien sähköenergian käyttö sekä tuloilman lämmittämiseen tarvittava energia.

9.1 Huippuimureiden uusiminen

Uusilla huippuimureilla päästään tekniikan uusiutumisen vuoksi huomattavasti pienempään sähkönkulutukseen kuin vanhoilla. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaan poistoilmapuhaltimien SFP-luku saa olla enintään 1,0 kW/(m³/s), kun vanhoissa huippuimureissa se voi olla jopa kaksi kertaa tätä suurempi.

Käyttö- ja energiakustannukset

Huippuimureiden alkuperäinen yhteinen SFP-luku oli 1,5 kW/(m³/s), ja uusien huippuimureiden SFP-luku on 0,7 kW/(m³/s). Puhallinenergian tarve uusilla puhaltimilla on 6868 kWh/a, ja kustannukset ovat 834 €/a, kun aikaisemmin sähköenergian tarve oli 14716,8 kWh/a ja vuosikustannukset 1788 €/a.

Investointikustannukset ja takaisinmaksuaika

Uusien huippuimureiden hinnat ovat Onnisen hinnastoin mukaan noin 1000 € kappale, joten kokonaiskustannukseksi tulee noin 4000 €, kun rakennuksessa on neljä huippuimuria (32). Työn osuus on Rakennustiedon Klara Net -ohjelman mukaan 0,5 €/brm²

ja rakennuksen bruttoala on 4776 m², jolloin asennuksen hinnaksi tulee 2388 € (34). Huippuimureiden uusimisen kokonaishinnaksi tulee 6388 €. Tämän lisäksi tulevat mahdolliset ilmanvaihtokanavien nuohouskustannukset, joita ei laskelmissa oteta huomioon.

Huippuimureiden tekninen käyttöikä 20–25 vuotta on elinkaarensa päässä, joten järjestelmä vaatii päivitystä jo ikänsäkin puolesta (31). Laskelmissa käytetään teknisenä käyttöikänä 25 vuotta. Huippuimureiden uusimisella saavutetaan vuositasolla 954 €:n säästö sähköenergian kulutuksessa. Uuden ja vanhan järjestelmän huoltokustannukset ovat samat, joten niitä ei oteta lainkaan huomioon laskelmissa. Investoinnin nykyarvo ja korollinen takaisinmaksuaika on esitetty taulukossa 15. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 15. Huippuimureiden uusimisen investointikustannukset, investointien nykyarvo ja korollinen takaisinmaksuaika.

	Investointi-kustannukset	Nykyarvo	Korollinen takaisinmaksuaika
Huippuimureiden uusiminen	6388 €	24637 €	6,2

Energiansäästötoimenpiteen investointien nykyarvo on positiivinen ja takaisinmaksuaika on lyhempi kuin tekninen käyttöikä, joten toimenpidettä voidaan pitää kannattavana. Usein linjasaneerauksen yhteydessä kiinnitetään huomiota myös ilmanvaihtoon, jolloin voidaan helposti myös uusia huippuimurit, mikäli edellisten tekninen käyttöikä alkaa lähestyä tai huippuimureiden sähkönkulutus on suuri.

9.2 Huoneistokohtaisen tulo-poistoilmanvaihdon asentaminen

Huoneistokohtaisen tulo-poistoilmanvaihdon asentamisen hyötyjä ovat muun muassa ilmanvaihdon hyvä säätömahdollisuus, vedoton tuloilma sekä poistoilmasta talteen saatava lämpö. Usein järjestelmän vaikea toteutettavuus kerrostaloissa ei anna teknisesti mahdollisuutta järjestelmän asentamiseen ja hankalasti toteutettavissa oleva järjestelmä nostaa myös investointikustannuksia, mutta muun saneerauksen yhteydessä voidaan hyvällä suunnittelulla saada ilmanvaihto toteutettua. Varsinkin rakennuksissa, joissa on ongelmia sisäilman laadun kanssa, on ilmanvaihto keskeisessä asemassa, kun lähdetään etsimään ratkaisuja.

9.2.1 Käyttö- ja energiakustannukset

Hyvällä huonestokohtaisella järjestelmässä voidaan saavuttaa 75 %:n lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, jota käytetään myös laskelmissa. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve on 181,8 MWh/a. Lämmöntalteenoton jälkeinen ilman lämpötila voidaan laskea yhtälöllä 12.

$$T_{lto} = T_u + \frac{\phi_{lto}}{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo}} \quad (12)$$

T_{lto} on ilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen, °C

T_u on ulkoilman lämpötila, °C

ϕ_{lto} on lämmöntalteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho, W

t_d on ilmanvaihtolaitoksen vuorokautinen käntiaikasuhde, h/24h

t_v on ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk

ρ_i on ilmantiheys, kg/m³

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, J/(kg K)

$q_{v,tulo}$ on tuloilmavirta, m³/s

Lämmöntalteenotolla talteenotettu teho lasketaan yhtälöllä 13.

$$\phi_{lto} = \eta_{a,ivkone} t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} (T_s - T_u) \quad (13)$$

ϕ_{lto} on lämmöntalteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho, W

$\eta_{a,ivkone}$ on ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde,-

t_d on ilmanvaihtolaitoksen vuorokautinen käntiaikasuhde, h/24h

t_v on ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk

ρ_i on ilmantiheys, kg/m³

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, J/(kg K)

$q_{v,tulo}$ on tuloilmavirta, m³/s

T_s on sisäilman lämpötila, °C

T_u on ulkoilman lämpötila, °C

Ilmanvaihtolaitteen oletetaan käyvän jatkuvasta samalla teholla, tuloilmavirta on 1,12 m³/s ja poistoilmavirta on tätä 5 prosenttia suurempi eli 1,18 m³/s, sisäpuhallusilman lämpötila on +20°C ja ulkoilman lämpötila vastaa rakentamismääräyskokoelman osan D5 kuukausien keskilämpötiloja. Näillä arvoilla saadaan uudeksi ilmanvaihdon nettoenergian tarpeeksi 26,6 MWh/a. Näiden lisäksi tulee huomioda tuloilman huonelämpötilaan lämpenemisen sekä korvausilman lämpenemisen energiantarpeet. Tuloilman lämmittämiseen tarvittava energia lasketaan yhtälöllä 14.

$$Q_{iv,tuloilma}=t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_s - T_{sp}) \Delta t / 1000 \quad (14)$$

t_d on ilmanvaihtolaitoksen vuorokautinen käntiaikasuhde, h/24h
 t_v on ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
 ρ_i on ilmantiheys, kg/m³
 c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, J/(kg K)
 $q_{v,tulo}$ on tuloilmavirta, m³/s
 T_s on sisäilman lämpötila, °C
 T_{sp} on sisäänpuhallusilman lämpötila, °C
 Δt on ajanjakson pituus (h)

Korvausilman lämpeneminen lasketaan yhtälöllä 15.

$$Q_{iv,korvausilma}=\rho_i c_{pi} q_{v,korvausilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (15)$$

ρ_i on ilmantiheys, kg/m³
 c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, J/(kg K)
 $q_{v,tulo}$ on tuloilmavirta, m³/s
 T_s on sisäilman lämpötila, °C
 T_u on ulkoilman lämpötila, °C
 Δt on ajanjakson pituus (h)

Edellä esitettyjen yhtälöiden avulla saadaan tuloilman lämmittämisen huonelämpötilaan energiantarpeeksi 11,8 MWh/a ja korvausilman lämmittämisen energiantarpeeksi 9,7 MWh/a. Uudeksi ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeeksi saadaan 48,1 MWh/a ja ostoenergian tarpeeksi 49,6 MWh/a. Lämmitysenergian kustannukseksi tulee luvun 6 kaukolämmön keskihinnalla 3448 €/a. Lämmitysenergian tarpeen lisäksi tulee huomioda ilmanvaihtokoneiden puhallinenergian tarve. Ilmanvaihtokoneiden SFP-luvut

ovat nykyisin hyvin pieniä ja voidaan helposti valita kone, jonka SFP-luku on 1,5 kW/(m³/s). SFP-luku on sama kuin nykyisten huippuimureiden, joten sähköenergian tarve pysyy samana. Lämpöenergian tarpeessa päästään säästöön 9582 €/a.

9.2.2 Investointikustannukset ja takaisinmaksuaika

Tarkastelua varten ilmanvaihtokoneiksi valitsin Vallox Oy:n mallin Vallox 110 SE, korkean poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen takia. Ilmavaihtokoneiden hankkimiskustannukset ovat noin 1900 € konetta kohden ja rakennuksessa on 55 asuntoa, jolloin ilmanvaihtokoneiden investointi kustannukset ovat 104500 €. Asennuskustannukset ovat Rakennustiedon Klara Net -ohjelman mukaan 1,36 €/brm² ja kanaviston ja kanavaosien hinta on keskimäärin 34,47 €/brm² (34). Asennus- ja kanavistonkustannuksiksi saadaan 171124 € rakennuksen bruttoalan ollessa 4776 m². Järjestelmän kokonaisinvestointikustannuksiksi tulee 275624 €.

Investointikustannuksien lisäksi tulee ottaa huomioon järjestelmän huoltokustannukset. Tarkastelussa otetaan huomioon vain vuosittaiset huollot, joita ovat suodattimien vaihdot. Suodattimet maksavat halvimmillaan alle 30 € ja Valloxin nettikaupassa hieman yli 50 €. Hintana tarkastelussa käytetään 30 €, koska suodattimia tilattaessa paljon päästään edullisempaan hintaan. Suodattimet vaihdetaan kaupunki alueella kaksi kertaa vuodessa, jolloin vuoden suodatinkustannukset ovat 3300 €.

Lämpöenergian tarpeessa päästään säästöön 9582 €/a. Ilmavaihtokoneiden tekninen käyttöikä on 20–25 vuotta, jolloin voidaan käyttää laskelmissa tarkastelujaksona 25 vuotta (31).

Investointilaskelmat tehdään kahdelle vaihtoehdolle: yllä olevilla tiedoilla tehtävä laskelma ja laskelmalle, jossa oletetaan sisäilman parantamisen olevan hyvin suuri tekijä, jolloin investointikustannuksissa otetaan huomioon vain 60 %. Vaihtoehtojen investointien nykyarvot sekä korolliset takaisinmaksuajat on esitetty taulukossa 16. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 16. Ilmanvaihtojärjestelmän uusimisen investointikustannukset, investointien nykyarvot ja korolliset takaisinmaksuajat

	Investointi- kustannukset	Nykyarvo	Korollinen takaisinmaksuaika
Huoneistokohtaisen tulo- poistoilmanvaihdon asentami- nen	275624 €	-29744 €	27,1
Investoinneista huomioidaan vain 60 %	16537,4 €	80505 €	18,6

Laskelmien perusteella voidaan todeta, että huonekohtaisen tulo-
poistoilmanvaihtojärjestelmän rakentamista ei voida perustella energiansäästöllä. Vaik-
ka investoinneista huomioidaan vain 60 %, on takaisinmaksuaika silti hyvin lähellä tek-
nistä käyttöikää. Voidaan siis todeta, että tarkasteltavassa rakennuksessa näiden las-
kelmien perusteella ei huoneistokohtaista tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmää kannata
toteuttaa energian säästön takia.

9.3 Poistoilmalämpöpumpun asentaminen

Poistoilmalämpöpumpun lisääminen olemassa olevaan järjestelmään on mahdollista
toteuttaa hyödyntäen olemassa olevaa kanavistoa, jolloin tarvitsee uusia vain kanavis-
ton loppuosa. Poistoilmalämpöpumpun energiansäästö voidaan laskea Suomen raken-
tamismääräyskokoelman osan D5 mukaisella yksinkertaisella menetelmällä (9), läm-
pöpumppujen energialaskentaohjeen mukaisella yksityiskohtaisella laskentamenetel-
mällä (YM) tai olemassa olevien mittaustulosten perustella (36). Yksityiskohtaisen me-
netelmän laskentatapoihin ei ole tarvetta mennä tässä työssä, joten voidaan vertailla
yksinkertaisen menetelmän tuloksia mittaustulosten perusteella saatuihin tuloksiin.

Poistoilmalämpöpumpun tuottama osuus lämmitysenergiasta saadaan Rakennusmää-
räyskokoelman osan D5 taulukon 6.11 avulla, kun tiedetään SPF-luku, jäteilman läm-
pötila sekä lämmitysenergian tarve neliötä kohden. SPF-lukuna käytetään laskelmassa
2,5, joka vastaa taulukon 6.11 puoliväliä. Jäteilman lämpötilana käytetään +3 °C:ta,
jotta jäätymisongelmia ei esiintyisi. Lämmitysenergian tarve neliötä kohden saadaan
laskelmalla lämmitys ja käyttöveden energian tarpeet yhteen ja jakamalla rakennuksen
pinta-alalla. Alkuperäinen lämmitysenergian tarve kokonaisuudessaan on 899,5 MWh/a
ja pinta-ala 3215 m², jolloin saadaan energian tarpeeksi neliötä kohden 279,8 kWh/m²

a. Lopputulos saadaan taulukosta interpoloimalla, jolloin saadaan poistoilmanlämpöpumpun tuottamaksi osuudeksi noin 33 %. Lämpöpumpulla voidaan tuottaa siis lämpöenergiaa 296,8 MWh/a. Lämpöpumppujärjestelmään lisätään myös varaaja, jonka varastointi häviöt tulee ottaa laskelmissa huomioon. Varaajan varastointihäviöt ovat 1100 kWh/a, kun varaajan koko on 1000 l ja eristys 100 mm, jolloin energian tarve pienenee 602,6 MWh/a. Lämpöpumpun käyttämä sähköenergia voidaan laskea yhtälöllä 16 (9).

$$W_{LP,lämmitys} = Q_{LP,lämm,tilat} / SPF_{tilat} + Q_{LP,lämm,lkv} / SPF_{lkv} + W_{lisälämpö} \quad (16)$$

$W_{LP,lämmitys}$ on lämpöpumppujärjestelmän energiankulutus kWh

$Q_{LP,lämm,tilat}$ on lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh

SPF_{tilat} on lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä

$Q_{LP,lämm,lkv}$ on lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh

SPF_{lkv} on lämpöpumpun SPF-luku käyttöveden lämmityksessä

$W_{lisälämpö}$ on tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä tarvittava lisälämmityksen sähköenergian tarve, kWh

SPF-lukuna käytetään samaa 2,5 kuin aikaisemmin sekä lämmitykselle että käyttövedelle. Lämpöpumppu järjestelmän sähköenergian kulutukseksi saadaan yhtälön 16 perusteella 118,7 MWh.

Kaukolämmön ja sähkön hintoina käytetään luvussa 6 esitettyjä keskihintoja. Alkuperäinen kustannus lämmitysenergian tarpeelle on 62542 €/a, kun ei huomioida tuoton häviöitä. Uusi kustannus lämmitysenergialle on 41899 €/a ja sähköenergialle 14422 €/a, jolloin kokonaiskustannuksiksi muodostuu 56321 €. Tämä tarkoittaisi 6221 € vuosisäästöä.

Vuosisäästön suuruuteen vaikuttaa oleellisesti rakennuksen suuri lämpöenergian tarve. Mikäli toteutetaan joitakin edellä mainituista energiansäästötoimenpiteistä, vaikuttaa se oleellisesti myös poistoilmalämpöpumpulla tuotetun energian määrään. Toinen vaikuttava asia on poistoilmalämpöpumpun SPF-luku. Jos voidaan olettaa SPF-luvun olevan laskelmissa käytettyä korkeampi, pienentää se sähkön kulutuksen osuutta.

Ari Matilaisen insinöörityössä on tutkittu olemassa olevan rakennuksen poistoilmalämpöpumpun lisäystä. Mittauksissa on päästy tuloksiin, jossa poistoilmalämpöpumpulla on tuotettu 57,5 % vuoden lämmitysenergian tarpeesta ja vuoden lämpökerroin on ollut

3,08. Tämän perusteella voidaan tehdä hypoteettinen laskelma, jossa poistoilmalämpöpumpulla tuotetaan puolet lämmitysenergian tarpeesta ja SPF-lukuna käytetään 3:a. (36.)

Lämpöpumpulla tuotetaan 449,8 MWh/a ja lämpöpumpun sähköenergian kulutus on 149,9 MWh/a. Näillä tiedoilla saadaan energiakustannukseksi 49487 €/a, josta lämmityksen osuus on 31275 €/a ja sähkön osuus 18212 €/a. Säästöksi saadaan 13055 € vuositasona.

Molemmat tilanteet ovat kyseisessä rakennuksessa hypoteettisia, koska laskelmissa tulee ottaa huomioon myös poistoilmasta saatavissa oleva energia. Saatavissa oleva energia voidaan laskea poistoilman ja jäteilman entalpian perusteella (yhtälö 17).

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{vtulo} (h_p - h_j) \Delta t / 1000 \quad (17)$$

Q_{iv} on ilmanvaihdosta saatavilla oleva energia (kWh)

t_d on ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24h)

t_v on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde (vrk/7vrk)

ρ_i on ilman tiheys (kg/m³)

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti (J/kg K)

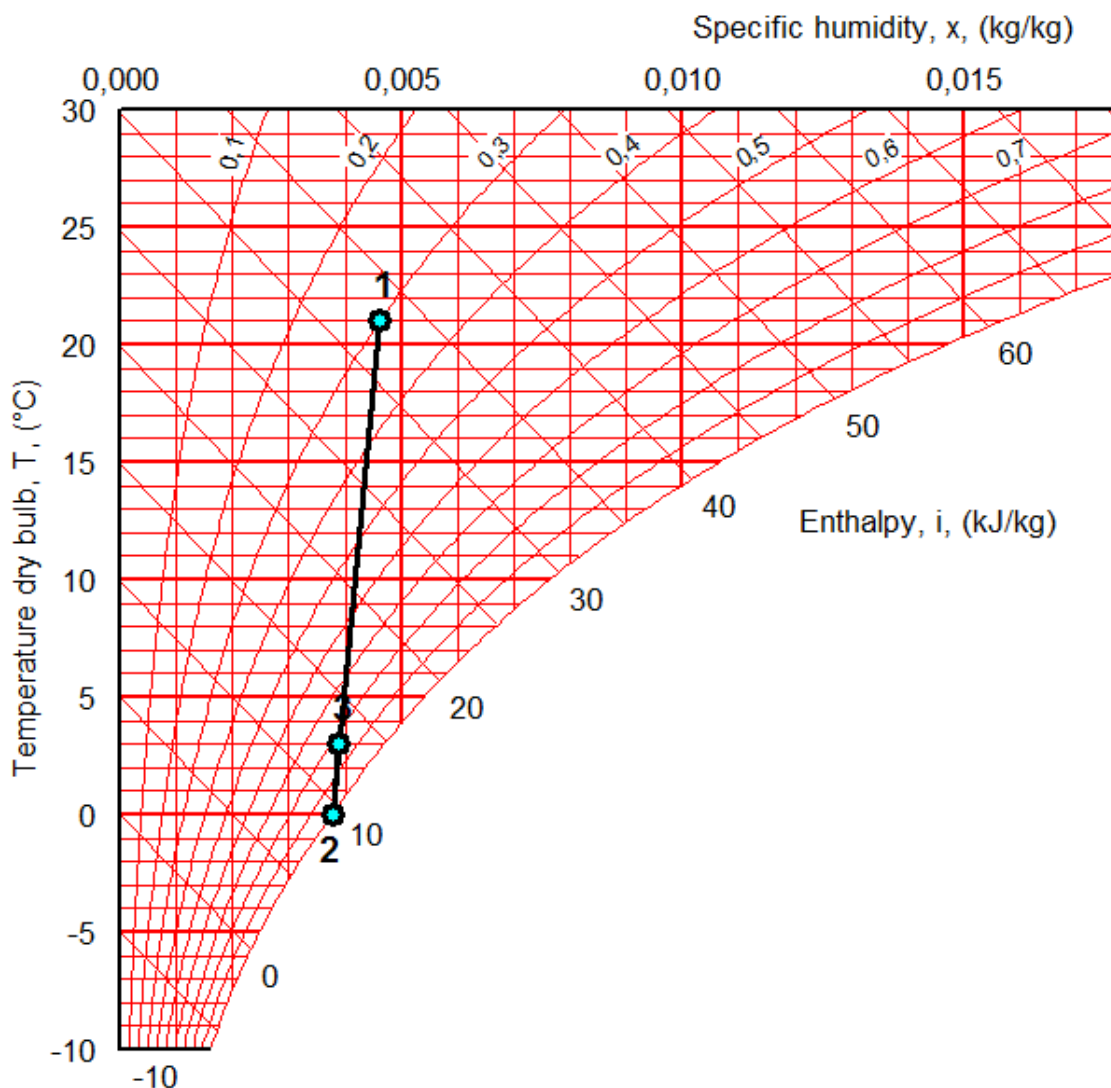
$q_{vpoisto}$ on tuloilmavirta (m³/s)

h_p on poistoilman entalpia (KJ/kg)

h_j on jäteilman entalpia (KJ/kg)

Δt on ajanjakson pituus (h)

Kun poistoilman lämpötilana käytetään +21 °C:ta ja suhteellisena kosteutena 30 %:a, saadaan Mollierin diagrammista poistoilman entalpia sekä jäteilman entalpia lämpötilan ollessa +3 °C. Poistoilman entalpiaksi saadaan 32,8 kJ/kg ja jäteilman entalpiaksi 12,8 kJ/kg. Poistoilman jäähtyminen on esitetty kuvassa 9.



Kuvio 9. Poistoilman jäähtyminen patterissa.

Yhtälön 17 ja Mollierin diagrammin perusteella saadaan laskettua poistoilmasta saatavaksi energiaksi vuositasolla 236,9 MWh/a. Luku on huomattavasti pienempi kuin kummassakaan laskelmista. Mietittäessä poistoilmalämpöpumpun kannattavuutta tulee laskelmissa ottaa huomioon myös poistoilmasta saatavissa oleva energia, jolla voi olla suurikin merkitys laskelmiin. Tarkkaa laskelmaa ei pysty tekemään, koska poistoilman kosteus vaihtelee hyvinkin paljon, mutta laskelma kuitenkin antaa kohtalaisen arvion saatavissa olevasta energiasta.

Poistoilmalämpöpumpusta ei tehdä tarkempia kustannustarkasteluja, koska tarkasteltavasta rakennuksesta ei saavuteta poistoilmalämpöpumpulla sellaista säästöä, että investointi olisi kannattava. Lisäksi laitteiden huoltokustannuksista ja teknisestä käyt-

töistä ei vielä ole tarkempaa tietoa suhteellisen uuden tekniikan vuoksi, jolloin laskelmat eivät ole vertailukelpoisia muiden kanssa.

10 Laskentatyökalu

Laskentatyökalu vesimittareiden asentamisen takaisinmaksuajan määrittämiseksi tehtiin, jotta voitaisiin arvioida suunnittelijoiden tekemiä laskelmia takaisinmaksuajoista.

Vesimittareiden asentamisen takaisinmaksuajan määrittelevän laskentatyökalun tekemiseen on käytetty Excel-laskentaohjelmaa ja yhtälöinä laskennassa on käytetty luvussa 7 esitettyjä yhtälöitä. Työkalu on jaettu kolmelle välilehdelle, joista ensimmäisessä on ohjeet, toisessa lähtötiedot ja tulokset ja kolmannessa piilotetussa välilehdessä on aputyökaluja laskennan suorittamiseksi. Laskentatyökalun välilehden on esitetty liitteessä 4.

Ohje välilehdellä on kerrottu hieman laskurin tietoja, selitetty eriväristen solujen merkitystä sekä kerrottu laskurissa olevien painikkeiden toiminnasta. Ohjevälilehti on esitetty kuvassa 10.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Huom! Laskuri perustuu keskimääräiseen säästöpotentiaaliin, joten tulokset ovat vain suuntaa antavia.										
2	Tarkemmat laskemat tulee teettää erikseen kyseiselle rakennukselle asiantuntijalla.										
3											
4	Ohjeet Laskuriin										
5											
6		Näin merkityt solut ovat lukittuja lähtötietoja									
7		Näin merkityt solut ovat täytettäviä soluja									
8											
9		Näin merkityt solut ovat lukittuja laskennan tuloksia									
10		Näin merkityt solut ovat lukittuja apulaskureita									
11											
12	Osissa soluista on olemassa oletusarvoja, joita voi muuttaa omien arvojen mukaisiksi										
13		Oletusarvot saa palautettua painamalla	Palauta oletusarvot								
14											
15		Korollisen takaisinmaksuajan saa laskettua painamalla	TMA painiketta								
16											
17	Mikäli muutat vesimittareiden lukumäärää, muista muuttaa myös kohdat: Investointimenot yhteensä,										
18	Mittareiden muut kustannukset yhteensä ja Lisäinvestoinnit yhteensä										
19											

Kuvio 10. Ohje välilehdellä kerrottuja toimintoja ja selityksiä.

Laskurivälilehti on jaettu neljään osioon: lähtötiedot, säästöt, kustannukset ja tulokset. Lähtötiedot ovat kaikki käyttäjän muokattavissa. Laskurissa on annettu lähtötietoina korko- ja hinta-arvoja, jotka perustuvat tässä työssä esitettyihin arvoihin. Vedenkulutuksen laskenta perustuu asukaskohtaiseen vedenkulutukseen vuorokaudessa. Laskuriin voi syöttää suoraan tämän arvon tai vaihtoehtoisesti veden vuosikulutuksen ja asukaslukumäärän. Asukaskohtaisen vuorokautisten vedenkulutuksen laskemiseksi on laskurissa aputyökalu. Lähtötiedot kohta on esitetty kuvassa 11.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Lähtötiedot											
2	Kokonaisvedenkulutus		7136 m³									
3	asukkaiden lukumäärä		115 kpl			170	Laskee asukas kohtaisen vedenkulutuksen kokonaisvedenkulutuksen ja asukas määrän perusteella					
4												
5	Vedenkulutus per henkilö/vrk		170 l/hlö/vrk *)				kerrostalo asukkaan keskimääräinen vedenkulutus on 155 l/hlö/vrk, Helsingissä 170 l/hlö/vrk					
6												
7	korko		3,3 %									
8	inflaatio		1,8 %									
9	sähkön hinta		12,15 c/kWh									
10	lämmityksen hinta		69,53 €/MWh				Lämmityksen keskihinta kaukolämmölle 69,53 €/MWh ja öljylle 110,6 €/MWh					
11	veden hinta		2,92 €/m³									
12												

Kuvio 11. Laskuri välilehden lähtötiedot kohta ja apulaskuri asukaskohtaisen vuorokautisen vedenkulutuksen laskemiseksi.

Laskurivälilehden säästöt -kohta alkaa arvoidulla prosentuaalisella vedenkulutuksen säästöllä. Prosentuaalisena säästönä käytetään luvun 7.1.1 mukaista 20 %:a, mutta säästö on laskurin käyttäjän vapaasti muutettavissa.

Säästöt -kohdassa tarkastellaan vedenkulutuksessa saavutettavien säästöjen lisäksi lämmitysenergian kulutuksen säästöjä. Lähtötietona lämmitysenergian säästöjen laskelmissa on käytetty lämpimänkäyttöveden osuutena kokonaiskulutuksesta 40 %:a. Kuvassa 12 on esitetty säästöt -kohdan laskelmia.

Tulokset -kohdassa on esitetty laskelmat veden ja lämmitysenergian säästöjen nykyarvoista sekä muiden kustannuksien ja lisäinvestointien nykyarvot. Laskelmat on tehty aputyökalut -välilehdellä ja laskurivälilehdellä on esitetty vain näiden laskelmien tulokset. Investointien nykyarvossa on otettu huomioon edellä mainittujen nykyarvojen lisäksi kustannukset -kohdassa annetut investointimenot. Takaisinmaksuaika lasketaan Excel -ohjelmiston tavoitteen haku -toiminnolla, jossa määritellään investointien nykyarvo soluun tavoitearvo 0 muuttamalla tarkasteluaika solua. Takaisinmaksuajan laskenta tapahtuu tuloksen kohdan TMA -painikkeella, johon on linkitetty makro laskentaa varten. Kustannukset kohdan alla on Palauta oletusarvot -painike, jolla voidaan palauttaa laskuri välilehden lähtötieto ja kustannukset kohtien hintojen sekä korkojen oletusarvot. Palauta oletusarvot – painike on toteutettu makrolla. Tulokset -kohta on esitetty kuvassa 14.

31	Tulokset					Tulokset			
32	Veden säästön nykyarvo	155073,1 €				Muiden kustannuksien nykyarvo	48212,7 €		
33	Lämpöenergian säästön nykyarvo	99314,3 €				Lisäinvestointien nykyarvo	14155,5 €		
34									
35	Investoinnin nykyarvo	162019,1 €							
36	Korollinen takaisinmaksuaika	8 a		TMA					
37									
38									
39									
40			Palauta oletusarvot						

Kuvio 14. Laskuri välilehden tulokset kohdan laskelmat sekä apupainikkeet.

11 Yhteenveto

Energiansäästötoimenpiteisiin ryhtyminen on aina taloyhtiön päätös, mutta mikäli ryhdytään uusimaan taloteknisiä järjestelmiä, tulee uusimisen yhteydessä kiinnittää huomiota myös ratkaisuiden energiansäästö mahdollisuuksiin. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä määrittelee energiatehokkuudessa saavutettavan tason tai vaadittavat toimenpiteet, kun järjestelmiä saneerataan. Energiatehokkuuden parantamiseksi on myös toimenpiteitä, joita ei ole esitetty asetuksessa ja joilla voidaan saavuttaa merkittävät säästöt energiankulutuksessa. Oikeisiin ratkaisuihin päätyminen lähteekin hyvän suunnittelijan ja/tai konsultin löytämisestä, joka osaa huomioida rakennuksen energiatehokkuuden kokonaisuutena.

Opinnäytetyön tarkoituksena on arvioida eri talotekniikka osa-alueiden energiansäästöratkaisujen säästöjä ja niiden kustannustehokkuutta. Tarkasteltavana rakennuksena on

käytetty vuosien 1960- ja 1970-lukujen asuinkerrostalojen tyypillistä rakentamista hyvin kuvaavaa rakennusta. Myös kulutuksetkin vastaavat hyvin keskimääräisiä kulutuksia, jotta opinnäytetyö olisi hyvin totuuden mukainen. Työ rajattiin koskemaan kyseisen aikakauden asuinkerrostaloja niiden suuren lukumäärän ja korjausvelan takia.

Järjestelmien tarkasteluaikana on käytetty järjestelmien teknistä käyttöikää. Vesimittareiden asentamisen tarkasteluaikana on käytetty 30 vuotta, joka tulee ympäristöministeriö asetuksesta investointien kannattavaksi takaisinmaksuajaksi asuinrakennuksissa. Vesimittarien asentamisen laskelmissa on otettu huomioon vesimittarien peruskorjaus-tarve 15 vuoden välein. Asennuskustannukset on laskettu Rakennustieto Oy:n rakennuskustannusten laskentaan tarkoitetulla Klara Net -ohjelmalla. Tarvikkeiden hankinta-kustannuksina on käytetty Klara Net -ohjelman hintatietoja, tukkuliike Onninen Oy:n hinnastoja, laitevalmistajien hinnastoja sekä LVI-alan liikkeistä saatuja hintatietoja. Laskelmien tarkoitus on kuvastaa hyvin kyseisten toimenpiteiden keskimääräisiä kus-tannuksia ja näin myös kustannustehokkuutta.

Vesijohtoverkostoon kohdistuvia energiansäästötoimenpiteinä tarkasteltiin vesimittareiden asentamista ja vanhojen huonosti eristettyjen vesijohtojen eristyksen parantamista. Laskelmissa molempien toimenpiteiden takaisinmaksuajan todettiin alittavan tarkaste-luajan. Vesimittareiden asentamisen todettiin olevan kannattava kaikissa tarkastelta-vissa vaihtoehdoissa ja takaisinmaksuajat jäivät alle 10 vuoden. Lyhin takaisinmaksu-aika saavutetaan, kun verkostoa uusitaan niin että jokaisella asunnolla on vain yksi vesijohtonousulinja. Vesijohtojen eristämisen energiansäästöjen takaisinmaksuajat ovat vain reilu vuoden mittaisiksi, kun olemassa olevat vanhat vesijohdot ovat eristä-mättömiä. Molemmat toimenpiteet ovat sellaisia, joita toteutetaan usein linjasaneerauk-sen yhteydessä. Vesimittareiden asentaminen olisi usein mahdollista muutenkin, mutta näitä harvoin toteutetaan yksittäisenä toimenpiteenä.

Lämmitysjärjestelmän energiansäästötoimenpiteitä olivat patteriventtiilien uusiminen ja verkoston perussäätö sekä lämmitysjärjestelmän vaihtaminen tai päivittäinen. Patteri-verkoston tasapainotus on perusteltua, kun huoneistojen välillä on suuria lämpötilaero-ja ja osassa tiloista on yllämpöä. Patteriverkoston perussäädön takaisinmaksuaika on laskelmien mukaan 5,4 vuotta, jolloin toimenpidettä voidaan pitää kannattavana. Ener-giansäästön lisäksi tasapainotuksella lisätään myös asuinviihtyvyyttä, kun päästään eroon liian viileistä tai lämpimistä lämpötiloista. Mikäli rakennusta lämmitetään huonolla hyötysuhteella toimivalla öljykattilalla, on lämmitysjärjestelmän muutoksen harvoja sa-

neeraustoimenpiteitä, joita voidaan perustella pelkällä energiansäästöllä. Molemmissa laskelmissa takaisinmaksuajat jäävät alle kahden vuoden mittaiseksi, jolloin voidaan puhua hyvin kannattavasta toimenpiteestä. Rakennuksen sijaitessa kaukolämpöalueella, on hyvin vaikeaa perustella öljykattilan vaihtamista, kun tarkastellaan tarkastelujakson kokonaiskustannuksia. Lisäksi kaukolämmön hiilijalanjälki on usein huomattavasti pienempi kuin öljylämmityksellä.

Tarkasteltavia energiansäästötoimenpiteitä ilmanvaihtojärjestelmien osalta olivat huippuimureiden vaihtaminen ja talteenotolla varustetun huoneistokohtaisen koneellisen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän rakentaminen. Lisäksi tarkasteltiin vaihtoehtoja, joissa nykyiseen koneelliseen poistoilmanvaihtojärjestelmään lisätään poistoilmalämpöpumppu. Huippuimureiden SFP-luvut, jolla mitataan sähkökulutusta verrattuna ilmamäärään, ovat pienentyneet huomattavasti verrattuna vanhoihin järjestelmiin uusiutuneen tekniikan ansiosta. Huippuimureiden uusiminen onkin kannattava energiansäästötoimenpide ja takaisinmaksuaikakin vain 6,2 vuotta. Huoneistokohtaisen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän rakentamisen takaisinmaksuaika on pidempi kuin tarkastelu-aika, jolloin ratkaisua ei voida pitää kannattavana. Vaikka investointikustannuksista huomioitaisiin vain 60 %, on takaisinmaksuaika silloinkin lähes 19 vuotta. Lämmöntalteenotolla varustetun koneellisen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän rakentamista ei voida perustella energiansäästöllä vaan järjestelmän rakentamisen perusteet on tultava jostain muualta. Järjestelmällä voidaan parantaa sisäilmanlaatua, mikäli vanha poistoilmajärjestelmä ei toimi toivotuksi. Lisäksi lämmitetyn tuloilman ansiosta päästään eroon mahdollisesti suoraan ulkoa otetusta tuloilmasta aiheutuneesta vedosta. Poistoilmalämpöpumpun asentamisesta ei suoritettu tarkempia laskelmia, koska kyseisessä rakennuksessa järjestelmä on selkeästi kannattamaton ja järjestelmästä on hyvin vähän kokemusta pitkältä aikajaksolta, joten on mahdotonta arvioida huolto- ja uusimiskustannuksia.

Yhteenvetona voidaan todeta, että yleensä energiansäästötoimenpiteet, jotka eivät vaadi suuria muutoksia järjestelmissä, ovat kannattavia. Poikkeuksena voidaan pitää lämmitysjärjestelmän vaihtamista, jolla voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä. Harvoja toimenpiteitä kannattaa lähteä toteuttamaan vain energiansäästön takia vaan uusimistarve tulee esimerkiksi laitteiden rikkoutumisen vuoksi tai teknisen käyttöiän lähestyessä loppua. Osa tarkastelluista toimenpiteistä ovat kannattavia vain toteutettuna muun korjauksen, esimerkiksi linjasaneerauksen, yhteydessä.

Lähteet

- 1 Energiatehokkuus. 2013. Verkkodokumentti. Euroopan parlamentti. <http://www.europarl.europa.eu/aboutparliament/fi/displayFtu.html?ftuId=FTU_4.13.3.html>. Luettu 12.9.2013.
- 2 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi. 2013. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=149497>>. Luettu 12.9.2013.
- 3 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi. 2013. Verkkodokumentti. Motiva. <http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten_energiatehokkuusdirektiivi>. Luettu 13.9.2013.
- 4 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU
- 5 prEN 15603 Energy performance of buildings. Overarching standard EPBD (Draft)
- 6 Laki rakennuksen energiatodistuksesta. 2013. Verkkodokumentti. Finlex. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130050>>. Luettu 16.9.2013
- 7 Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta. 2012. Verkkodokumentti. Finlex. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120958#Pid1916668>>. Luettu 16.9.2013.
- 8 Rakennusten energiatehokkuus. 2012. Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 9 Rakennuksen energiankulutus ja lämmitystarpeen laskenta. 2012. Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 10 Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 11 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. 2007. Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D1. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 12 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. 2010. Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D1. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 13 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. 2013. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 14 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. 2013. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 15 Asuinkerrostalojen linjasaneeraus –hankeprosessi ja tekniset ratkaisut 60- ja 70-lukujen kerrostaloissa, Osa 1: Perusteet ja ohjeet. 2009. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 16 Kodin vesiasiat. 2013. Verkkodokumentti. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY.

- <<http://www.hsy.fi/vesi/kodinvesiasiat/Sivut/Useinkysyttya.aspx>>. Luettu 11.10.2013.
- 17 Jari Virta – Petri Pylsy. 2011. Taloyhtiön energiakirja. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus Oy.
 - 18 Vedenkulutus. 2013. Verkkodokumentti. Motiva.
<http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/mihin_energiaa_kuluu/vedenkulutus>. Luettu 24.9.2013.
 - 19 Huoneistokohtaisten vesimittareiden käyttö ja vaikutuksen rakennusten energiankulutukseen. 2009. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö.
<http://www.motiva.fi/files/5725/Tyoryhmuistio_Huoneistokohtaisten_vesimittareiden_kaytto_ja_vaikutukset_rakennusten_energiankulutukseen.pdf>. Luettu 11.10.2013.
 - 20 Energiansäästöviikko suosittelee. 2011. Verkkodokumentti. Motiva.
<http://www.motiva.fi/ajankohtaista/motivan_tiedotteet/2011?3719_m=4248>. Luettu 11.10.2013.
 - 21 Kauppinen, Jyrki. 2013. Ympäristöministeriön asetuksen 4/13 rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä perustelumistio. Helsinki: ympäristöministeriö.
 - 22 LVI 50-10345. 2002. Taloteknisten eristysten mitoitus ja käyttö. Rakennustieto, LVI-kortisto.
 - 23 Asentamisen perusteet. 2013. Verkkodokumentti. Talotekniikan opetussivusto.
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/lvi/aihio3/kannakkeet_2.htm>. Luettu 22.10.2013.
 - 24 Lämmitysverkoston perussäätö säästää rahaa ja luo terveellisen sisäilmaston. 2002. Verkkodokumentti. Motiva. <<http://www.motiva.fi/files/781/perussaato-esite.pdf>>. Luettu 18.10.2013.
 - 25 Kaukolämmön lämmönjakolaitteiden uusinta. 2011. Verkkodokumentti. Fortum Power and Heat Oy.
<<https://www.fortum.fi/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Kaukolampo/Kaukol%C3%A4mm%C3%B6n%20l%C3%A4mm%C3%B6njakolaitteiden%20uusinta.pdf>>. Luettu 28.10.2013.
 - 26 Tuotesertifikaatti. 2013. Verkkodokumentti. VTT Expert serviceOy.
<http://www.vallox.com/tiedostot/4/documents/Sertifikaatit_FI/Vallox_145SE_VTT_C_10046_13.pdf>. Luettu 9.1.2014.
 - 27 Maksujen hintakehitys 2002-2012. 2014. Verkkodokumentti. Sastamalan kaupunki.
<http://www.sastamalankaupunki.fi/sastamala/liitetiedostot/editori_materiaali/11393.pdf>. Luettu 9.1.2014.
 - 28 Energianhinnat. 2014. Verkkodokumentti. Tilastokeskus.
<<http://tilastokeskus.fi/til/ene.html>>. Luettu 9.1.2014

- 29 Öljytuotteiden kuluttajahintaseuranta. 2015. Verkkodokumentti. Öljy- ja biopolttoaineala ry. <<http://www.oil.fi/fi/tilastot-1-hinnat-ja-verot/11-oljytuotteiden-kuluttajahintaseuranta>>. Luettu 7.3.2015
- 30 HSYn vesihuollon taksa. 2014. Verkkodokumentti. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY. <http://www.hsy.fi/vesi/Documents/Hinnat_sopimusehdot/HSYn_vesihuollon_taksa_2014_su_web.pdf>. Luettu 7.1.2014.
- 31 LVI 01-10424. 2008. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot. Rakennustieto, LVI-kortisto.
- 32 Hinnasto 2015. 2015. Verkkodokumentti. Onninen Oy. <<http://www.onninen.com/finland/Palvelut/Hinnastot/Pages/Default.aspx>>. Luettu 7.3.2015
- 33 Sisäilmastoluokitus 2008. 2008. Sisäilmayhdistys ry. Rauma: Painorauma Oy.
- 34 Klara.net. 2015. Verkko-ohjelma. Rakennustieto Oy. <<https://www.rakennustieto.fi/index/tuotteet/klaranet.html>>. Luettu 13.3.2015.
- 35 Kaukolämmön hinta 1.7.2013 alkaen. 2015. Verkkodokumentti. Energiategollisuus ry. <http://energia.fi/sites/default/files/hinta_010713_paivitetty_050215.pdf>. Luettu 7.3.2015.
- 36 Matilainen, Ari. 2013. Poistoilmalämpöpumpun hyödyntäminen vanhassa kerrostalossa. Insinööri työ 8.5.2013. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/58858/Matilainen_Ari.pdf?sequence=1>. Luettu 13.3.2015

Vesijohtojärjestelmien energiansäästötoimenpiteiden laskelmat

Kiertovesijohdon eristämisen energiansäästön laskelmat

		Kiertovesijohdon eristäminen 225 m Dx0,5	Kiertovesijohdon eristäminen 225 m Dx1,5	Kiertovesijohdon eristäminen 300 m Dx0,5	Kiertovesijohdon eristäminen 300 m Dx1,5
Investointi	I_0	4296,6	7326	5728,8	9768
Aika	n	30	30	30	30
Energiansäästö	T_K	5938,6	6486,7	5481,8	6212,7
Käyttökulut	K_K	0	0	0	0
Nettotuotot	T	5938,6	6486,7	5481,8	6212,7
Nimelliskorko		3,3	3,3	3,3	3,3
Inflaatio		1,8	1,8	1,8	1,8
Eskalaatio		5,4	5,4	5,4	5,4
	i	0,033	0,033	0,033	0,033
	f	0,018	0,018	0,018	0,018
	e	0,054	0,054	0,054	0,054
Reaalikorko	r	0,014734774	0,014734774	0,014734774	0,014734774
Reaalikorko eskalaatio	r_e	-0,019924099	-0,019924099	-0,019924099	-0,019924099
Reaalikorkoteijä	$(1+r)$	1,014734774	1,014734774	1,014734774	1,014734774
Eskalaatoteijä	$(1+r_e)$	0,980075901	0,980075901	0,980075901	0,980075901
Diskonttauskerroin	anr	24,10637445	24,10637445	24,10637445	24,10637445
Diskonttauskerroin eskalaatio	anr_e	41,60684266	41,60684266	41,60684266	41,60684266
Käyttökulujen nykyarvo		0	0	0	0
Energiansäästön nykyarvo		247086,3958	269891,1063	228080,3901	258490,8314
Nettotuottojen nykyarvo		247086,3958	269891,1063	228080,3901	258490,8314
Investoinnin nykyarvo	P	242789,7958	262565,1063	222351,5901	248722,8314
Investoinnin nykyarvo		242789,7958	262565,1063	222351,5901	248722,8314
korkollinen takaisinmaksuaika	n	0,7	1,1	1,0	1,5

Lämmitysjärjestelmien energiansäästötoimenpiteiden laskelmat

Lämmitysjärjestelmän perussäädön kustannustehokkuus laskelmat

		Lämmitysjärjestelmän perussäätö
Investointi	I_0	25600
Aika	n	15
Energiansäästö	T_K	4423
Käyttökulut	K_K	0
Nettotuotot	T	4423
Nimelliskorko		3,3
Inflaatio		1,8
Eskalaatio		5,4
	i	0,033
	f	0,018
	e	0,054
Reaalikorko	r	0,014734774
Reaalikorko eskalaatio	r_e	-0,019924099
Reaalikorkotekijä	$(1+r)$	1,014734774
Eskalaatitekijä	$(1+r_e)$	0,980075901
Diskonttauskerroin	anr	13,37019738
Diskonttauskerroin eskalaatio	anr_e	17,68699538
Käyttökulujen nykyarvo		0
Energiansäästön nykyarvo		78229,58055
Nettotuottojen nykyarvo		78229,58055
Investoinnin nykyarvo	P	52629,58055
Investoinnin nykyarvo		52629,58055
korkollinen takaisinmaksuaika	n	5,4

Lämmitysjärjestelmän uusimisen tai vaihtamisen kustannustehokkuus laskelmat

		Öljykattilan uusiminen	Siirtyminen öljystä kaukolämpöön
Investointi	I_0	17111	54590
Aika	n	25	25
Energiansäästö	T_K	15628	47955
Käyttökulut	K_K	0	0
Nettotuotot	T	15628	47955
Nimelliskorko		3,3	3,3
Inflaatio		1,8	1,8
Eskalaatio		5,4	5,4
	i	0,033	0,033
	f	0,018	0,018
	e	0,054	0,054
Reaalikorko	r	0,014734774	0,014734774
Reaalikorko eskalaatio	r_e	-0,019924099	-0,019924099
Reaalikorkotekijä	$(1+r)$	1,014734774	1,014734774
Eskalaatiotekijä	$(1+r_e)$	0,980075901	0,980075901
Diskonttauskerroin	anr	20,78596454	20,78596454
Diskonttauskerroin eskalaatio	anr_e	32,81916757	32,81916757
Käyttökulujen nykyarvo		0	0
Energiansäästön nykyarvo		512897,9508	1573843,181
Nettotuottojen nykyarvo		512897,9508	1573843,181
Investoinnin nykyarvo	P	495786,9508	1519253,181
Lisäinvestoinnin nykyarvo		1536,886232	
Investoinnin nykyarvo		494250,0645	1519253,181
korkollinen takaisinmaksuaika	n	1,2	1,1

Ilmanvaihtojärjestelmien energiansäästötoimenpiteiden laskelmat

Huippuimureiden uusimisen kustannustehokkuus laskelmat

		Huippuimureiden uusiminen
Investointi	I_0	6388
Aika	n	25
Energiansäästö	T_K	958
Käyttökulut	K_K	0
Nettotuotot	T	958
Nimelliskorko		3,3
Inflaatio		1,8
Eskalaatio		5,3
	i	0,033
	f	0,018
	e	0,053
Reaalikorko	r	0,014734774
Reaalikorko eskalaatio	r_e	-0,018993352
Reaalikorkotekijä	$(1+r)$	1,014734774
Eskalaatiotekijä	$(1+r_e)$	0,981006648
Diskonttauskerroin	anr	20,78596454
Diskonttauskerroin eskalaatio	anr_e	32,38537224
Käyttökulujen nykyarvo		0
Energiansäästön nykyarvo		31025,18661
Nettotuottojen nykyarvo		31025,18661
Investoinnin nykyarvo	P	24637,18661
Investoinnin nykyarvo		24637,18661
korkollinen takaisinmaksuaika	n	6,2

Huoneistokohtaisen lämmöntalteenotolla varustetun tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän rakentamisen kustannustehokkuus laskelmat

		Tulo-poistoilmanvaihto	Investoinneista huomioidaan 60 %
Investointi	I_0	275624	165374,4
Aika	n	25	25
Energiansäästö	T_K	9582	9582
Käyttökulut	K_K	3300	3300
Nettotuotot	T	6282	6282
Nimelliskorko		3,3	3,3
Inflaatio		1,8	1,8
Eskalaatio		5,4	5,4
	i	0,033	0,033
	f	0,018	0,018
	e	0,054	0,054
Reaalikorko	r	0,014734774	0,014734774
Reaalikorko eskalaatio	r_e	-0,019924099	-0,019924099
Reaalikorkotekijä	$(1+r)$	1,014734774	1,014734774
Eskalaatiotekijä	$(1+r_e)$	0,980075901	0,980075901
Diskonttauskerroin	anr	20,78596454	20,78596454
Diskonttauskerroin eskalaatio	anr_e	32,81916757	32,81916757
Käyttökulujen nykyarvo		68593,68298	68593,68298
Energiansäästön nykyarvo		314473,2636	314473,2636
Nettotuottojen nykyarvo		245879,5807	245879,5807
Investoinnin nykyarvo	P	-29744,41933	80505,18067
Investoinnin nykyarvo		-29744,41933	80505,18067
korkollinen takaisinmaksuaika	n	27,1	18,6

Ohje välilehti

Huom! Laskuri perustuu keskimääräiseen säästöpotentiaaliin, joten tulokset ovat vain suuntaa antavia.									
Tarkemmat laskemat tulee teettää erikseen kyseiselle rakennukselle asiantuntijalla.									
Ohjeet Laskuriin									
Näin merkityt solut ovat lukittuja lähtötietoja									
Näin merkityt solut ovat täytettäviä soluja									
Näin merkityt solut ovat lukittuja laskennan tuloksia									
Näin merkityt solut ovat lukittuja apulaskureita									
Osissa soluista on olemassa oletusarvoja, joita voi muuttaa omien arvojen mukaisiksi									
Oletusarvot saa palautettua painamalla Palauta oletusarvot									
Korollisen takaisinmaksuajan saa laskettua painamalla TMA painiketta									
Mikäli muutat vesimittareiden lukumäärää, muista muuttaa myös kohdat: Investointimenot yhteensä,									
Mittareiden muut kustannukset yhteensä ja Lisäinvestoinnit yhteensä									

Laskuri välilehti

[illegible]

Aputyökalut välilehti

alkuperäinen lämpimänveden kulutus	2942,577			14	15	14155,53108	
uusi lämpimänveden kulutus	2354,062						
						14155,53108	
alkuperäinen lämpöenergian kulutus	171,6503						
uusi lämpöenergian kulutus	137,3203						
Investointi	I_0	30000	30000				
Aika	n	30	30				
veden säästö	T_K	4167,278	4167,278				
Lämmitysenergian säästö		2387,0	2387,0				
Käyttökulut	K_K	2000	2000				
Nimelliskorko		3,3	3,3				
Inflaatio		1,8	1,8				
Veden hinnan nousu		4,7	4,7				
eskalaatio		5,4	5,4				
	i	0,033	0,033				
	f	0,018	0,018				
	e_v	0,047	0,047				
	e	0,054	0,054				
Reaalikorko	r	0,014735	0,014735				
Reaalikorko veden hinnan nousu	r_{ev}	-0,01337	-0,01337				
Reaalikorko eskalaatio	r_e	-0,01992	-0,01992				
Reaalikorkotekijä	$(1+r)$	1,014735	1,014735				
Eskalaatiotekijä veden hinnan nousu	$(1+r_{ev})$	0,986628	0,986628				
Eskalaatiotekijä	$(1+r_e)$	0,980076	0,980076				
Diskonttauskerroin	anr	24,10637	24,10637				
Diskonttauskerroin vedensäästö	anr_{ev}	37,21208	37,21208				
Diskonttauskerroin eskalaatio	anr_e	41,60684	41,60684				
Käyttökulujen nykyarvo		48212,75	48212,75				
Veden säästön nykyarvo		155073,1	155073,1				
Energiansäästön nykyarvo		99314,27	99314,27				
Nettotuottojen nykyarvo		106860,3	106860,3				
Investoinnin nykyarvo	P		162019,1				